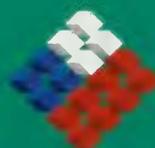


# Agrobiotecnología en la Escuela

SUPLEMENTO DEL DOCENTE



**REDBIO Chile**



**GOBIERNO DE CHILE**  
FUNDACION PARA LA  
INNOVACION AGRARIA

**Fundación REDBIO Internacional**  
ZONAMERICA Business & Technology Park  
R. 8 Km 17.500 Local 208  
Business Center Of. 3  
Montevideo - Uruguay  
e-mail: [redbio@adinet.com.uy](mailto:redbio@adinet.com.uy)  
Tel/Fax: (598 2) 5185416

**EQUIPO TÉCNICO**  
Coordinación General: Gladis Medeiros Rota  
Creación Artística: Fábio Ochôa  
Asesoría Pedagógica: Carmen Biasoli  
Editora: Fernovi

Publicado en Chile por REDBIO Chile, con autorización de Fundación REDBIO Internacional. La filial REDBIO Chile se encuentra amparada por la personería jurídica de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) del Ministerio de Agricultura.

# Agrobiotecnología en la escuela

## SUPLEMENTO DEL DOCENTE

### **Estimados profesores y profesoras:**

La REDBIO Internacional es una organización no gubernamental, sin fines de lucro, cuyo objetivo es desarrollar y promover la biotecnología agrícola, establecida en el ámbito de trabajo de la Red de Cooperación Técnica en Biotecnología Vegetal (REDBIO/FAO) la cual opera bajo los auspicios de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. La Fundación REDBIO Internacional posee como uno de sus cometidos principales, fomentar y permitir la educación de las personas a distintos niveles, en relación a los nuevos conocimientos que desarrollan e incorporan la biotecnología.

La actualización de los programas de educación en las ciencias biológicas e incorporación de los conceptos de biotecnología moderna es fundamental, considerando la rapidez con que se han desarrollado avances dentro de esta área. Muchas veces los profesores no tienen la oportunidad de actualizar sus conocimientos al respecto y de esta manera poder contar con las herramientas para la formación de los alumnos y presentarlos de la mejor manera.

En este sentido la Fundación REDBIO Internacional elaboró el Curso “**Agrobiotecnología en la escuela**”, que piensa hacer posible a estudiantes de los últimos años del nivel primario, la comprensión de la naturaleza como un todo dinámico y de su participación como agentes de transformación de ese mundo en que viven.

Profesor, este suplemento fue elaborado para ayudarlo en su acción pedagógica en la clase. Se trata de una fundamentación teórica en Biotecnología de Plantas, asociada al tema desarrollado en cada uno de los “cómic” que componen los cinco capítulos de esta propuesta.

La narrativa visual servirá como instrumento de mediación pedagógica, para que sus estudiantes se conviertan, con su incentivo, no sólo en apreciadores críticos de la lectura, sino también en agentes y constructores de conocimiento. El uso de dibujos en los “cómic”, además de representar situaciones de la vida diaria del estudiante y de la vida social, hará posible la reflexión sobre el tema propuesto, la confrontación de ideas, la búsqueda de soluciones y alternativas y la autonomía en el aprendizaje.

El carácter pedagógico de los cómics está en la posibilidad del estudiante de identificar y entender los asuntos relativos a la sociedad y a las relaciones intersociales. Como instrumento didáctico, los cómics, además de trabajar con diferentes situaciones propuestas por la narrativa y diferentes imágenes compuestas de personajes, pueden involucrar al estudiante en otras áreas del conocimiento.

Nuestro suplemento pretende ser una ayuda, que usted puede tener a mano, para enriquecer las metodologías de su acción pedagógica. Sugerimos que usted trabaje junto con los otros docentes, relacionando los temas de su disciplina con las otras disciplinas del currículo y también con los temas transversales (ética, salud, ambiente), temas éstos que, articulados con los contenidos de los currículos de las disciplinas, hacen posible la contextualización con los asuntos sociales actuales.

Eso es lo que nosotros llamamos “interdisciplinaridad”, una metodología integrada que evita la fragmentación de la enseñanza de los temas. Para entrar en una aventura interdisciplinaria será necesario tener el coraje para cambios; cuestionar, no buscar sólo respuestas; estar consciente que nadie es educado con ideas “listas”; no cultivar el gusto por la certeza del sistema, porque el conocimiento nace de la duda y se alimenta de la incertidumbre.

Ahora, después de la presentación de nuestros personajes,



lo invitamos a nuevas aventuras a través de la historia:

# “VIAJE AL CENTRO DE LA HOJA”

## **Capítulo 1**

En este capítulo, los estudiantes se pondrán en contacto con la biotecnología, dándose cuenta de que, en la realidad, la biotecnología tradicional es usada por el ser humano hace miles de años, en procesos como la fermentación y la domesticación de plantas.

## **Capítulo 2**

Para una buena comprensión de la biotecnología y de la ingeniería genética, los estudiantes revisarán los conceptos de ADN, genes y ARN, entre otros. Ellos entenderán cómo funciona el lenguaje genético, lo que son las modificaciones genéticas y serán introducidos en el concepto de plantas genéticamente modificadas.

## **Capítulo 3**

Este capítulo muestra la necesidad de una agricultura más productiva y sostenible, con el uso de menos agrotóxicos. También muestra cómo las plantas genéticamente modificadas pueden resolver algunos problemas enfrentados por los agricultores, como plagas e invasoras, así como ser más adaptables al cultivo bajo condiciones ambientales desfavorables, o más nutritivas, entre otras cosas. Los estudiantes podrán entender igualmente cómo la biotecnología puede complementar el mejoramiento de plantas.

## **Capítulo 4**

Este capítulo muestra los pasos necesarios para la creación de una planta genéticamente modificada, así como las técnicas usadas: “conectar”, “desconectar”, modificar los genes; o transferir genes de una planta (u otro organismo) a otra.

## **Capítulo 5**

Después de este capítulo, los estudiantes sabrán qué plantas genéticamente modificadas ya existen (tanto las especies, como los tipos de modificaciones ya obtenidos), y habrán adquirido nociones de bioseguridad: los riesgos y cuidados que deben tenerse en el uso de la biotecnología en la agricultura.

---

## CAPÍTULO 1.

# ¿Qué es la Biotecnología?

---

En primer lugar, imaginemos si sería posible tener frutas y verduras que, además de alimentar, también mejoraran nuestra salud. ¿Plantas con más vitaminas y más nutritivas? ¿Plantas que resistieran al ataque de insectos, virus y otras plagas? ¿Producir un arroz más nutritivo, rico en hierro y vitamina A, que impidiera que muchos niños desnutridos de países en desarrollo se quedaran ciegos por la carencia de esta vitamina?

En la realidad, todo eso ya existe. No es ficción científica. Pertenecen al mundo real de la biotecnología de plantas, uno de los progresos más importantes de la ciencia en los últimos años. ¿Pero, qué es biotecnología?

Existen varias definiciones de biotecnología. La más simple, es la que sólo emplea el significado de las palabras “bio” y “tecnología”:

**Bio:** forma reducida de biología, que es el estudio de la vida, de todos los seres vivos; **Tecnología:** una palabra para decir “herramienta”.

**Biotecnología,** entonces, es una herramienta que usa los procesos biológicos de los seres vivos para hacer nuevos productos.

En la realidad, la biotecnología es una técnica que hace uso de organismos, o partes de éstos, para producir o modificar productos, mejorar las plantas o animales y desarrollar microorganismos para propósitos específicos.

En este sentido, ella tiene una larga historia de uso en la producción y procesamiento de alimentos, siendo la biotecnología tradicional bastante antigua. Desde los tiempos más remotos, se usan los microorganismos para la producción de yogurts, quesos y bebidas alcohólicas, a través del proceso conocido como fermentación. En la fermentación, microorganismos, como las bacterias, levaduras y hongos, se mezclan con ingredientes que son digeridos por estos organismos para su propio sustento. De este proceso de digestión, resultan dos productos muy importantes: el gas carbónico y el alcohol. El descubrimiento del proceso de la fermentación permitió al ser humano producir los alimentos a través de la acción de organismos vivos sobre ciertos ingredientes.

Nuestros antepasados también notaron que, con algunas modificaciones en las condiciones bajo las cuales la fermentación ocurría, ellos podrían mejorar la calidad y el rendimiento de los productos.

Hace miles de años que los microorganismos ya eran usados, de una manera inconsciente, para la producción de bebidas fermentadas y otros productos. Sin embargo, sólo en el siglo XIX, Pasteur descubrió que los microorganismos eran los responsables de la fermentación, empezando la segunda fase de la biotecnología.

Es importante diferenciar la biotecnología tradicional, que utiliza sólo organismos no modificados genéticamente, de la biotecnología moderna, que utiliza organismos modificados genéticamente o genes de especies, géneros o reinos diferentes.

## **Biotecnología y mejoramiento de plantas**

A través de la biotecnología, es también posible encontrar las mejores características de las plantas, en lo que se refiere a los aspectos nutritivos, así como a una mayor capacidad de luchar contra pestes o enfermedades, e incorporarlas en otras plantas. En la realidad, la humanidad está haciendo eso hace miles de años.

La historia de la biotecnología es la historia de la evolución humana. Ella sigue nuestro desarrollo desde simples recolectores y cazadores nómadas hasta las modernas sociedades sedentarias, cuya supervivencia depende de una agricultura muy productiva.

Los primeros agricultores fueron mejorando los cultivos a través de la selección de semillas de plantas que, entre otras cualidades, presentaran una mayor producción de frutas o granos, se mantuvieran saludables durante periodos de sequía o enfermedades, o presentaran hojas más sabrosas que las otras plantas de su tipo. Ellos sembraban esas semillas y cultivaban plantas que presentaban más de esos caracteres favorables. Entonces separaban y guardaban las semillas de las mejores plantas, entre aquéllas particularmente deseables, para sembrarlas el año siguiente.

Así, todos los años, los agricultores producían cultivos cada vez mejores, con caracteres más deseables. Después de varios años de cuidadosa selección de semillas, los agricultores podrían mantener y fortalecer tales características deseables. Por consiguiente, el ser humano ya viene haciendo modificaciones genéticas en las plantas hace mucho tiempo.

Transcurrió un tiempo largo antes de que la humanidad entendiera cómo se reproducen las plantas y animales. Cuando el ser humano adquirió ese conocimiento, las personas empezaron a polinizar las plantas a mano, causando así un aumento, en las generaciones futuras, de los caracteres considerados favorables.

### **CONOCIENDO UN POCO MÁS**

Hace aproximadamente 8.000 años, los indígenas de México empezaron el proceso de domesticación del teosinto, el antepasado del maíz moderno. El teosinto produce mazorcas pequeñas con pocos granos. La propia planta no se parece al maíz moderno, debido a la modificación genética realizada por el hombre. De los cerca de 25.000 genes que tiene el maíz, no se sabe cuántos fueron eliminados o modificados de alguna manera por el hombre. Estas modificaciones genéticas son la causa del rendimiento del maíz moderno que es mil veces superior al del teosinto.

Las posibilidades de mejorar las plantas crecieron con la comprensión de la genética. Así, cuando se entendió lo que significa la herencia, se hicieron claros los beneficios de los cruzamientos entre las plantas: podrían usarse dos plantas con características deseables diferentes para originar una generación que presentase una combinación de esas características.

La comprensión de los principios detrás de la fermentación y de las prácticas de mejoramiento de plantas fue obtenida sólo en el último siglo, pero esas primeras técnicas ya eran verdaderas prácticas de biotecnología, manejando los procesos naturales para mejorar la vida del hombre. Sólo en los últimos años los científicos empezaron a entender los genes y su papel, y en los últimos 30 años ellos lograron manipular los genes, siendo esta tecnología definida, de manera estricta, como ingeniería genética. En los primeros usos de la biotecnología, la metodología principal se basaba en la utilización de microorganismos o de sus componentes. Hoy, cuando las personas hablan de biotecnología, están discutiendo las aplicaciones de alta tecnología que involucran la manipulación del material genético de los seres vivos para obtener nuevos productos, usando la ingeniería genética.

***Ingeniería genética: nuevo tipo de modificación genética, que permite a científicos, entre otras cosas, adaptar microorganismos para tareas específicas.***

El impacto de la biotecnología en la sociedad se presentó principalmente en la agricultura, en la salud, en la producción de sustancias básicas y en la protección del ambiente. En la salud, la biotecnología es responsable por la síntesis de sustancias terapéuticas en gran cantidad, reduciendo el costo de producción (vacunas y hormonas como la insulina).

En la producción de sustancias básicas, puede mencionarse la fermentación en escala industrial, para producir vitaminas y varios antibióticos. En la protección del ambiente, la biotecnología es responsable por el uso de microorganismos modificados para la purificación de ambientes contaminados.

#### **LA EVOLUCIÓN DE LA BIOTECNOLOGÍA**

- 6000 AC (Babilonia) - Primeras bebidas alcohólicas
- 4000 AC (Egipto) - Pan y cerveza
- 1857 Louis Pasteur desarrolla la pasteurización y define la microbiología.
- 1861 Gregor Mendel realiza experimentos con plantas de guisante y nota que ciertas características (genes) podrían ser transmitidas a las futuras generaciones.
- 1928 Descubrimiento de la penicilina (de un hongo) por Fleming: biotecnología.
- 1944 Avery descubre el papel de los genes.
- 1953 Descubrimiento de la estructura del ADN por James Watson y Francis Crick.
- 1973 Cohen y Boyer son los primeros científicos que alteran la estructura genética de las bacterias. Un gen es extraído de un organismo y puesto en otro.
- 1982 Biotecnología es usada para producir insulina para tratamiento de la diabetes.
- 1983 Se producen plantas a través de las prácticas modernas de biotecnología.
- 1990 Se produce, a través de la biotecnología, la quimosina –enzima que coagula la leche para la producción de queso–. Primer intento de terapia genética en humanos.
- 1994 Primer alimento “mejorado” a través de la biotecnología (tomate).
- 1995 Introducción en el mercado de la soya producida a través de la biotecnología.

La comprensión de las bases de la genética es importante para que nosotros seamos capaces de examinar las aplicaciones de la biotecnología e ingeniería genética en la agricultura. Y eso no es complicado porque, en la realidad, la ingeniería genética es simplemente “hacer algo con los genes”...

---

## CAPÍTULO 2

### ¿Qué son los genes?

---

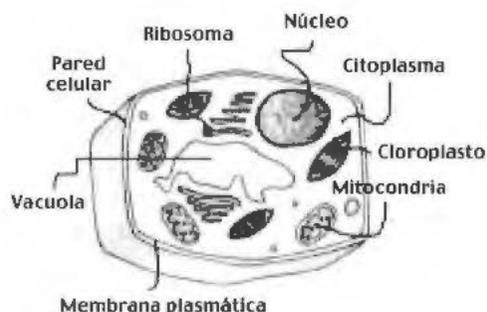
Entendiendo, de manera simplificada, la ingeniería genética como “hacer algo con los genes”, debemos, entonces, para comprenderla mejor, primero saber lo que son los genes. Y, para entender lo que son los genes, tenemos que conocer la célula, que es donde ellos se encuentran.

La definición de “vida” es una tarea difícil, sin embargo, todos están de acuerdo con respecto a que la unidad fundamental de la vida, en otras palabras, la estructura más pequeña que tiene todas las características básicas de los organismos vivos, es la célula.

Las células trabajan como fábricas minúsculas, obteniendo y acumulando las sustancias que necesitan del ambiente, degradando y sintetizando moléculas, y haciendo las más innumerables cosas.

*Todos los organismos vivos se constituyen por uno o más células que siempre se originan de otras células: “teoría celular”.*

#### Célula vegetal



Las células de la raíz son diferentes de las células de la hoja de una planta, así como las células de la piel son diferentes de aquéllas que constituyen la sangre.

*Las células de diferentes partes de la planta, del ser humano o de animales, presentan formas y funciones diferentes. Para eso, producen diferentes sustancias, siendo las más importantes las proteínas.*

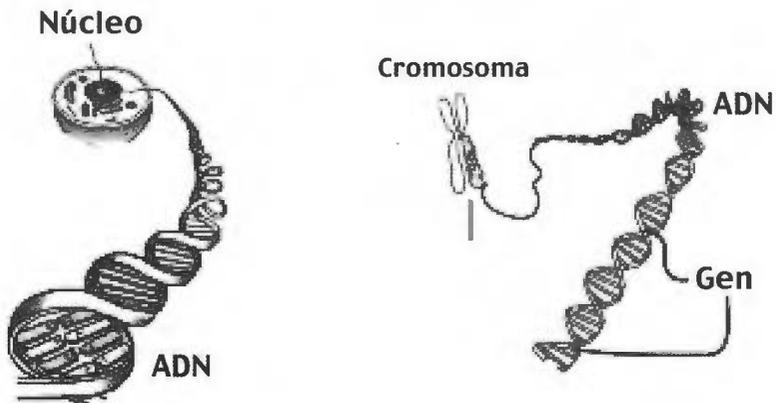
Pero ¿cómo las células “saben” cuál es su función? ¿Cómo “saben” qué proteínas necesitan producir?

Las instrucciones que dicen a la célula lo que ella tiene que hacer y qué proteínas ella necesita producir para hacer eso, están, principalmente, en su parte central –el núcleo. Allí está la información necesaria para que un ser vivo pueda crecer y ejecutar todas sus funciones, sean ellas cuales sean.

Estas instrucciones están “escritas” en forma de una molécula llamada ADN (ácido desoxirribonucleico). El ADN tiene la “receta”, o código, para el buen funcionamiento de la célula, diciendo qué proteínas ella necesita producir y cómo producirlas, y también determinando cómo las innumerables diferentes células de un organismo se organizarán.

*El ADN es el “manual de instrucciones” para formar a los seres vivos.*

El ADN del núcleo se asocia a las proteínas, formando los cromosomas (salvo en organismos muy simples, como las bacterias, que no poseen núcleo). Los cromosomas son “paquetes” que contienen el ADN que los organismos necesitan para vivir, crecer y multiplicarse.



¿Y cómo el ADN puede tener las “instrucciones” necesarias para la síntesis de las proteínas?

La molécula de ADN tiene la forma de dos cintas paralelas, que se unen una a la otra, constituidas por nucleótidos dispuestos en secuencia, formando una espiral (más o menos como si fuera una escalera torcida).

Los nucleótidos están formados, principalmente, por cuatro sustancias, las bases: adenina (A), guanina (G), timina (T) y citosina (C), que son como letras en el “lenguaje genético”:

ATGCTCGAATAAATGTGAATTTGA

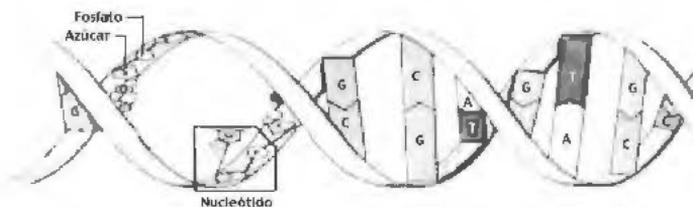
Estas “letras” pueden combinarse de miles de maneras diferentes para formar las “palabras”:

ATG CTC GAA TAA ATG TGA ATT TGA

Las “palabras” forman innumerables “frases” diferentes:

<ATG CTC GAA TAA >      <ATG TGA ATT TGA >

Estas “ frases” se llaman genes.



Del mismo modo que nosotros usamos las letras para formar palabras con significado, el orden de los nucleótidos en una cinta de ADN forma “palabras” que dicen a la célula cómo hacer cada proteína.

### CONOCIENDO UN POCO MÁS

Un nucleótido, la unidad básica del ADN, es el “trío” molecular formado por un azúcar (desoxirribosa), un grupo fosfato y una base nitrogenada (A, T, C o G). La unión de las bases ocurre entre una purina y una pirimidina: G/C y A/T.

Las proteínas son formadas por largas cadenas de aminoácidos y el orden de los aminoácidos en estas cadenas es determinado por el ADN. Cada “palabra” de tres letras de una cadena de ADN corresponde a un aminoácido en la proteína codificada por el gen.

La secuencia de aminoácidos en una proteína determina cómo ella será estructurada, mientras la forma o estructura determina su función en la célula. Las proteínas pueden ser enzimas y catalizar reacciones, proteínas estructurales e influir en las formas de las células y tejidos, o, incluso, proteínas reguladoras y regular la expresión de otros genes.

*Gen es el trozo de la molécula de ADN que contiene la información (el código) para la síntesis de cierta proteína. Genoma es el conjunto de genes de un individuo.*

### UN POCO DE HISTORIA

En la década de 1860, un monje y botánico austríaco, Gregor Mendel, descubrió que ciertos “factores” determinaban la herencia de características de las plantas del guisante. En 1903, el investigador William Sutton hizo la conexión entre los factores de Mendel y los cromosomas —estructuras dentro del núcleo de la célula, que llevan el material genético. El material genético en sí mismo, conocido como ácido desoxirribonucleico (ADN), fue descubierto por Johann Miescher en 1869. Sin embargo, sólo después que los científicos Francis Crick y James Watson (1953) propusieron la estructura de doble hélice para la molécula de ADN, se empezó a entender cómo este material lleva el código genético de la vida.

El ADN tiene el código secreto para hacer las proteínas, sin embargo, estas son producidas fuera del núcleo de la célula. ¿Entonces, cómo va este código desde el núcleo al lugar de producción de proteínas?

En lugar de llevar el valioso ADN fuera del núcleo, la célula hace una copia del gen, que es enviada al lugar donde están los aminoácidos para formar las proteínas en el citoplasma.

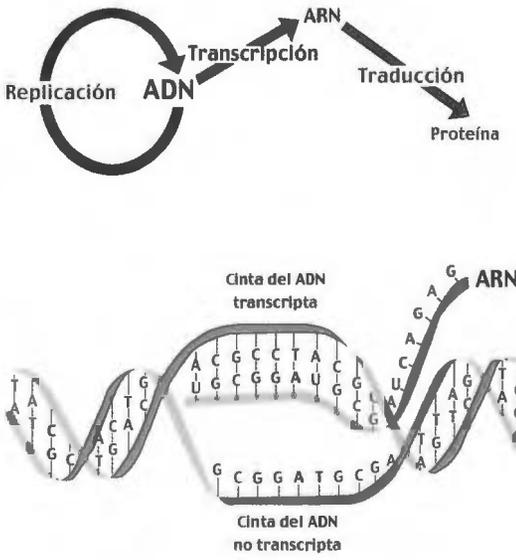
Esta copia es el ARN mensajero (ácido ribonucleico), que es una cinta de “palabras” de tres letras que dicen al ribosoma, que es donde las proteínas son producidas, cuál es el orden correcto de los aminoácidos en la misma.

El ARN se clasifica en:

**ARN mensajero:** es aquel que posee la secuencia de nucleótidos que será descifrada en los ribosomas. El ARN es complementario a una de las cintas del ADN, siendo copiado a partir de la misma durante el proceso llamado transcripción.

**ARN transportador:** son los ARN que se combinan específicamente con el ARN mensajero. Ellos son los “vehículos de transporte” de los aminoácidos que van uniéndose para formar la proteína en el proceso de “traducción”. La traducción permite transformar la información genética en proteínas, en los ribosomas.

**ARN ribosomal:** son parte de la estructura de los ribosomas, que es donde ocurre la síntesis de proteínas.



### CONOCIENDO UN POCO MÁS

Dos tipos de bases componen los ácidos nucleicos (ADN y ARN):

Purinas: Adenina (A) y Guanina (G)

Pirimidinas: Citosina (C), Timina (T) y Uracila (U)

La asociación de esas bases con el azúcar ribosa o con la desoxirribosa genera los dos tipos de ácidos nucleicos: el ácido ribonucleico (ARN) y el ácido desoxirribonucleico (ADN), respectivamente. Ambos, ARN y ADN, poseen A, G y C, sin embargo en el ADN tenemos T, mientras en el ARN tenemos U.

*El ADN de cualquier célula de un organismo es exactamente igual al ADN de todas sus otras células, sin embargo, en diferentes partes de este ser vivo algunos genes están "conectados" y otros "desconectados".*

Entonces, una proteína dada sólo es producida cuando y donde ella es necesaria. Por esto, las células de diferentes partes de una planta, por ejemplo, pueden parecer y comportarse de manera diferente. Por ejemplo: las células de la raíz tienen el mismo ADN de las células de las hojas, pero como la raíz no tiene la misma función de las hojas y no necesita clorofila, los genes responsables por la producción de la clorofila están "desconectados", mientras en las hojas ellos están "conectados".

La ingeniería genética es la alteración selectiva de genes hecha por el hombre, en laboratorio. Es la técnica que permite, entre otras cosas, "conectar" y "desconectar" genes: hacer que ciertos genes se activen y pasen a producir ciertas proteínas, o se desconecten, dejando de producir ciertas proteínas; así como hacer modificaciones en la estructura de los genes.

La ingeniería genética actúa en el nivel molecular, donde las diferencias entre las especies desaparecen, puesto que todos los seres vivos son constituidos por el mismo tipo de moléculas. El gen que tiene el código para producir cierta proteína es "escrito" de la misma manera, con las mismas "letras" (A, G, C y T) tanto en el hombre, como en las plantas, animales u otros organismos. Por eso es que se dice que el lenguaje genético es universal. Lo que cambiará entre un ser vivo y otro, o entre un órgano y otro dentro del mismo ser vivo, será el tipo de proteínas que él necesita producir para lograr sus funciones.

El hecho de que el código genético sea universal es importante porque hace posible el traslado de información de una especie a otra, manteniendo su significado. El gen que tiene el código para producir una proteína continuará “haciendo” esa proteína aun cuando sea colocado en otro ser vivo diferente. El lenguaje genético es más simple que el lenguaje que el hombre inventó para comunicarse. ¡Imagine qué bueno sería si todas las personas del mundo hablaran el mismo idioma!

En la naturaleza, los genes se transfieren entre organismos de la misma especie. Sin embargo, todas las moléculas de ADN tienen la misma estructura básica, lo que permitió que organismos de especies diferentes “cambiaran” ADN durante su evolución. En billones de años, los seres vivos se desarrollan a través de los cambios de genes. Los genes se han transferido, algunos se han extinguido y otros han sufrido mutaciones, y estos cambios han originado la vida como la conocemos hoy.

A veces, no muy frecuentemente, los genes se mueven también entre los organismos de especies diferentes (traslado horizontal). Sin embargo, hoy, el traslado horizontal de genes puede ocurrir a través de la ingeniería genética, superando las barreras de especies.

Las modificaciones genéticas siempre ocurrieron y continúan ocurriendo en la naturaleza todo el tiempo. Cada fruta, verdura, grano y animal doméstico que nosotros vemos ahora resulta de modificaciones genéticas. La biotecnología apenas refina y mejora los métodos para producir nuevas plantas y animales.

Es importante saber todo esto para que se pueda entender una de las creaciones más importantes de la ingeniería genética: las plantas genéticamente modificadas. De una forma simplificada, nosotros podemos generalizar y considerar que:

*Plantas genéticamente modificadas son aquellas que tienen uno o más genes modificados (“conectados” –activados, para empezar a producir cierta proteína–, o “desconectados” –desactivados, para dejar de producir cierta proteína–), o aquellas que recibieron un gen de otro tipo de planta, o de otro organismo cualquiera.*

En este último caso, ellas son, a veces, llamadas “transgénicas”. Una planta transgénica contiene uno o más genes colocados artificialmente en su genoma. Tales genes pueden venir de otra planta de la misma especie, o de un ser vivo completamente diferente.

## **¿Por qué hacer plantas genéticamente modificadas y por qué es tan importante la biotecnología de plantas?**

---

En 2020, la población mundial será de cerca de 8 mil millones de personas. Producir alimentos para estas personas exigirá grandes cambios en la agricultura de los países en desarrollo y también de aquellos desarrollados. Agricultores de países en desarrollo extraen árboles de los bosques para usar el suelo para agricultura, porque siempre necesitan más tierra para alimentar una población que crece mucho. Sin embargo, los países desarrollados también tienen desafíos en este sentido, como por ejemplo, obtener más alimentos utilizando la misma cantidad de tierra.

### **CURIOSIDAD**

La tierra cultivada y la población mundial no están uniformemente distribuidas: China tiene el 7% de la tierra productiva del mundo, pero el 20-25% de la población mundial.

La agricultura está modificando el paisaje hace más de 5.000 años. Los bosques son cortados, los campos nativos son cultivados... Todo esto hace que la diversidad de plantas y animales vaya perdiendo. Esta situación se agrava debido a la necesidad de alimentar una población numerosa y a nuestra incapacidad de aumentar la productividad. La necesidad de tierra cultivable crece continuamente. Para conservar los bosques, el hábitat natural y la biodiversidad, es necesario asegurar que la demanda futura de alimentos sea cubierta sólo por las tierras cultivadas ahora en uso.

### **CONOCIENDO UN POCO MÁS**

Todos los tipos de seres vivos existentes en la tierra caracterizan la biodiversidad. La diversidad genética, o la variedad de genes dentro de una especie, también es considerada un tipo de biodiversidad. ¿Por qué la biodiversidad es tan importante? Si nosotros pensamos en la vida como una biblioteca llena de información (el código genético de todos los seres vivos) y necesitamos resolver un problema, para obtener la información necesaria es mejor tener muchos libros diferentes en los estantes que tener estantes llenos del mismo libro.

La agricultura intensiva actual usa toda la tierra buena disponible y también las tierras marginales. Sólo permanecen sin ser cultivadas las tierras empobrecidas, con mucha salinidad, regiones con falta o exceso de agua, o localizadas en lugares con condiciones climáticas desfavorables. Si la necesidad nos hace usarlas, el daño ecológico será enorme.

Es contradictorio que algunos defensores de la naturaleza lamenten la pérdida de la biodiversidad y no defiendan las innovaciones tecnológicas destinadas a aumentar la productividad agrícola, toda vez que existe una relación directa entre productividad y conservación de la biodiversidad.

***La agricultura sustentable consiste en prácticas que son ambientalmente saludables, socialmente responsables y económicamente viables, contribuyendo así al mantenimiento de la calidad de vida para las generaciones futuras.***

Para tener una agricultura realmente sustentable y conservar la biodiversidad, tenemos que aumentar la productividad de la tierra agrícola actual. Claro que la biotecnología por sí sola no aumentará la productividad de los cultivos, resolviendo así el problema del hambre mundial, pero puede ayudar a desarrollar la agricultura. ¿Cómo?

Plantas genéticamente modificadas podrían traer aumento de productividad; ayudar a evitar la pérdida de alimentos y granos en pos-cosecha; crecer bajo condiciones ambientales adversas, como sequía, en áreas anegadizas, bajo clima inestable, en tierras consideradas difíciles para la agricultura; reducir las pérdidas causadas por las plagas y enfermedades, disminuyendo la necesidad del uso de controles químicos; usar menos tierra y/o agua; absorber nutrientes del suelo de manera más eficaz; proporcionar a los agricultores mayor flexibilidad en el combate a las malezas. Además, cuantos más alimentos se produzcan, más eficaz será su producción y menor puede ser su costo, a largo plazo, para los consumidores.

¿Y cómo las plantas genéticamente modificadas consiguen hacer todo esto?

Primero, los científicos descubrieron que era posible “ligar” y “desligar” los genes, y también que se podría transferir genes de una planta, o incluso de un ser vivo diferente, a otra planta. Entonces, cuando ellos notaron que algunas plantas, e incluso algunos organismos simples, como las bacterias, por ejemplo, tenían genes responsables de cualidades muy interesantes, ellos pensaron:

“¿Por qué no poner estos genes en el ADN de una planta y hacer que ella empiece a presentar esa cualidad?”

“¿Por qué no “ligar” cierto gen en una planta para que ella empiece a producir cierta proteína?”

“¿Por qué no “desligar” cierto gen responsable de una característica que no queremos que la planta presente?”

“¿Por qué no cambiar un poco la estructura de algún gen para que comience a dar la instrucción de producir una proteína diferente?”

Desde entonces, ellos comenzaron a desarrollar las plantas genéticamente modificadas, haciendo que ellas empezaran a producir proteínas diferentes y a tener nuevas cualidades, como resistir a los insectos, ser más nutritivas, crecer en lugares con poca agua, etc.

Es importante saber que la introducción de un gen en una planta no la transformará totalmente en otro tipo de planta. Ella continúa siendo la misma. Por ejemplo, nosotros podemos aislar, de un tipo de vegetal que vive en el hielo, el gen responsable por su capacidad de resistir al frío y ponerlo en un tomate. Este tomate será resistente a temperaturas bajas, pero continuará siendo el mismo, con la misma apariencia, el mismo sabor...

## **Plantas tolerantes a herbicidas**

Las llamadas plantas dañinas o invasoras aparecen en las plantaciones sin ser “invitadas”, ocupando espacio y “robando” a las plantas cultivadas el agua, la luz y los nutrientes que ellas necesitan. Para terminar con este tipo de plantas en el cultivo se crearon los herbicidas.

Sin embargo, además de tener que aplicar herbicida varias veces para acabar con las plantas dañinas, a veces éstas son muy similares a aquéllas cultivadas y es difícil usar el herbicida sin causar también daños y perjuicios al cultivo.

Por eso, los científicos crearon plantas genéticamente modificadas tolerantes a cierto herbicida, pudiendo esto ser usado en el cultivo para acabar con las invasoras sin dañar la planta cultivada e incluso reducir el número de aplicaciones de herbicida necesarias, disminuyendo así la cantidad de residuos de productos químicos en el suelo.

### CONOCIENDO UN POCO MÁS

El glifosato, considerado inofensivo para seres humanos y animales, es uno de los herbicidas de amplio espectro más potentes, actuando a través de la inhibición de la acción de una enzima esencial para el crecimiento de la planta. El gen que codifica esta enzima fue aislado y modificado a través de la ingeniería genética, siendo insertado en algunos cultivos que pasaron, entonces, a producir grandes cantidades de esta enzima, empezando a presentar tolerancia a los niveles de glifosato que son utilizados para controlar las malezas. La soya tolerante al glifosato fue el primer cultivo genéticamente modificado producido en gran escala.

Otro factor importante es el hecho de que muchos agricultores extraen mecánicamente la maleza de sus campos, práctica que puede causar erosión. Muchos de los nuevos cultivos tolerantes a herbicidas, que fueron desarrollados a través de la biotecnología, pueden ayudar a proteger el ambiente porque hacen posible el cultivo utilizando menos tierra, evitando la erosión, conservando la capa superficial del suelo y mejorando la calidad del agua, al reducir la contaminación de ríos por sedimentos y fertilizantes.

### Plantas resistentes a insectos y enfermedades

La biotecnología puede, en algunos casos, desarrollar plantas que tienen la capacidad de protegerse de insectos y enfermedades, sin el uso de controles químicos, como es el caso de los cultivos Bt.

El *Bacillus thuringiensis* es una bacteria común en el suelo, que produce una proteína llamada toxina Bt. Esta proteína provoca el desarrollo de orificios en el sistema digestivo de los insectos que ingieren estas bacterias. La agricultura orgánica usa este plaguicida natural hace más de 40 años para controlar las poblaciones de algunos insectos nocivos a las plantaciones.

Los científicos aislaron el gen Bt y lo transfirieron al algodón, al maíz y a la papa, para que las células de las plantas resultantes pudiesen producir la toxina. Los cultivos genéticamente modificados ya no son perjudicados por las larvas de los insectos, que normalmente se alimentaban de las raíces, hojas o semillas de estas especies.

Estos cultivos resistentes a los insectos reducen el uso de pesticida, disminuyendo los riesgos de contaminación del agua y el uso de recursos necesarios

para fabricar, distribuir y aplicar los controles químicos, como los gastos en combustible y mano de obra.

La salud de los trabajadores del campo y de los consumidores, en general, también es beneficiada. Además, los insectos que no se alimentan del cultivo (la inmensa mayoría) no son eliminados. En la realidad, en los cultivos Bt los insectos son más numerosos y la diversidad de especies es más grande.

También se desarrollaron plantas genéticamente modificadas resistentes a las enfermedades virales, como papa, calabaza, papaya, arroz y maíz. La resistencia al virus resulta en el uso reducido de insecticidas necesarios para controlar los insectos vectores de ese virus.

### **Plantas más nutritivas**

Hoy, millones de personas en el mundo sufren de hambre crónica o desnutrición. Esta última está alcanzando niveles epidémicos en los países en desarrollo, donde muchas personas –incluso niños– ya perdieron la visión debido a deficiencia de vitamina A. Otras personas, cuyas dietas consisten principalmente en arroz, pueden estar sujetas a la anemia por deficiencia de hierro. Incluso en el mundo desarrollado, muchos sufren de alergias alimentarias, enfermedades del corazón y de otros problemas nutricionales.

El uso de la biotecnología en la agricultura puede llevar a la producción de alimentos con mayores niveles de nutrientes, más proteínas, vitaminas y minerales, y menos ácidos grasos; de alimentos que se conservan sabrosos y frescos durante más tiempo; de cereales con proteínas de buena calidad; además de alimentos que pueden ayudar a reducir el riesgo de enfermedades del corazón y de ciertos tipos de cáncer.

### **Plantas resistentes a ambientes desfavorables**

La biotecnología puede ser usada para fortalecer la producción local en regiones donde las condiciones ambientales son desfavorables para la agricultura, a través del desarrollo de plantas más adaptadas a ambientes desfavorables, como por ejemplo, plantas que consiguen desarrollarse bien en lugares muy secos, sin sufrir con la falta de agua.

## **Biotecnología y mejoramiento de plantas**

Un mejorador de plantas intenta obtener una combinación de genes en un tipo de planta cultivada que la torne lo más útil y productiva posible. Genes deseables pueden proporcionar dichas características, tales como mejor rendimiento, mejor calidad, resistencia a plagas o enfermedades y tolerancia a calor, frío o sequía.

Tradicionalmente, se combinan los genes de dos plantas para producir un híbrido con las características deseadas, transfiriéndose el componente masculino de una planta (el polen) al femenino de otra. Tal procedimiento se restringe al cruzamiento artificial de plantas dentro de la misma especie, o entre especies íntimamente relacionadas, para reunir genes diferentes y formar un híbrido. Un gen responsable por la producción de cierta proteína de la soya no podría transferirse a una especie diferente, como el maíz, a través del uso de técnicas tradicionales.

Hoy, la ingeniería genética hace posible que los mejoradores de plantas elijan genes útiles de una gran clase de seres vivos, y no sólo de la misma especie de planta, o de plantas íntimamente relacionadas. Por consiguiente, ésta es una técnica que permite realizar más rápidamente lo que se viene haciendo hace años: desarrollar variedades superiores de plantas.

En el mejoramiento tradicional, el ADN de las plantas progenitoras es recombinado al azar, y caracteres no deseados, como bajo rendimiento o falta de sabor, se combinan con los deseados, como la resistencia a plagas. Con el uso de la biotecnología, los genes que codifican para una característica específica pueden ser “conectados”, o incluso seleccionados e individualmente recombinados en un nuevo organismo.

Sin embargo, es importante recordar que la biotecnología no sustituye el mejoramiento convencional de plantas, sino que lo complementa.

### **CURIOSIDAD**

Si cada unidad de información en el código genético de una planta fuese representado por una letra, serían necesarias 1.700.000 páginas para contener toda la información de una planta de trigo. El mejoramiento tradicional combina al azar las instrucciones de 1,7 millones de páginas de uno de los padres con las páginas del otro. La nueva planta incluye algunas informaciones de una planta de trigo y algunas de otra. Algunas “páginas” pueden contener la información para caracteres indeseables. Con las técnicas de la biotecnología, las páginas responsables por caracteres deseables pueden ser identificadas y ser incluidas en la nueva planta, siendo los caracteres indeseables excluidos.

## ¿Cómo son hechas las plantas genéticamente modificadas?

---

Hoy, la principal forma de obtener plantas genéticamente modificadas es “conectando” y “desconectando” genes, es decir, haciendo que ciertos genes, que normalmente no son activos, se accionen y empiecen a mandar que se hagan nuevas proteínas; o haciendo que ciertos genes queden inactivos y dejen de mandar que se produzca cierta proteína responsable de una característica que no interesa en la planta; o incluso logrando ciertos “arreglos” en los genes. Los genes ya existentes en una planta pueden activarse en momentos, tejidos o cantidades diferentes, y eso puede modificar, de manera favorable, la proteína producida.

Sin embargo, cuando “conectar”, “desconectar”, o modificar genes no es bastante para que la planta pase a presentar la cualidad que nos interesa, podemos buscar en otra planta, de la misma especie o de especie diferente (o incluso en otro tipo de organismo) la cualidad que queremos incluir en la planta y encontrar la parte del ADN donde está el gen responsable por ella.

### **PASOS PARA LA CREACIÓN DE PLANTAS GENÉTICAMENTE MODIFICADAS, A TRAVÉS DEL TRASLADO DE GENES:**

1. Identificar el caracter deseado;
2. Identificar la fuente (el origen) del gen;
3. Extraer el ADN, aislando el gen;
4. Ajustar el gen para conferir el caracter deseado;
5. Transferir el gen a la planta;
6. Probar si el caracter deseado está allí;
7. Si está, pasar a experimentar en el campo. Si no está, intentar transferir el gen de nuevo a la planta;
8. Realizar pruebas para asegurar que no hay ningún efecto dañino del gen y si el mismo funciona de la manera deseada;
9. Al mismo tiempo en que los experimentos son realizados en el campo, hacer las pruebas iniciales de seguridad del producto;
10. Someter los resultados a las agencias reguladoras.

Identificar y localizar los genes responsables por caracteres de importancia agronómica no es muy simple. El conocimiento sobre las especies de genes que pueden aumentar el potencial de rendimiento, mejorar la tolerancia al estrés, modificar las propiedades químicas del producto o afectar otras características de la planta, no es mucho todavía.

Normalmente, no es suficiente identificar un gen aislado involucrado en un carácter. Los científicos deben entender cómo el gen es regulado, qué otros efectos podría causar en la planta y cómo es su interacción con los otros genes. Por esta razón, los científicos están intentando rápidamente obtener la secuencia de genes de los cultivos y entender su funcionamiento.

Después de escogido el carácter deseado, e identificado el gen responsable del mismo, se hace la extracción del ADN. Cuando se extrae el ADN de un organismo, se extraen todos los genes al mismo tiempo, por eso el científico debe encontrar el gen específico que tiene el código para la proteína de interés y copiarlo (multiplicarlo) miles de veces, en el proceso llamado "clonación".

#### **CONOCIENDO UN POCO MÁS**

Clonación es el uso de técnicas de ingeniería genética para producir líneas de células que tienen la misma apariencia y hacen las mismas cosas, o incluso animales o plantas genéticamente idénticos. Cuando hablamos de animales clonados, no esperamos que ellos actúen de la misma manera; ellos sólo tienen los genes idénticos. Los gemelos son clones naturales, y no actúan de la misma manera.

### **Las regiones del gen**

Una vez que el gen ha sido localizado y clonado, los científicos normalmente necesitan modificarlo un poco, para que se exprese de una manera específica cuando sea puesto en la planta. La modificación involucra un cambio de las secuencias en las regiones del gen que dirigen su expresión.

El gen tiene tres regiones: la promotora, la codificadora y la secuencia de finalización, siendo las regiones promotora y codificadora las que normalmente se modifican. Los científicos, usando enzimas especiales, pueden cortar y separar las regiones del gen, quitar una de ellas y sustituirla por otra. El gen, entonces, es considerado ADN "recombinante", ya que tiene una nueva combinación de ADN.

### CONOCIENDO UN POCO MÁS

La primera región del gen, la promotora, actúa como un “botón de conexión y desconexión”, activando y desactivando el gen, y especificando cuántas copias se producirán de la proteína. Debe agregarse al gen una secuencia promotora para que éste se exprese (esto es, se traduzca en una proteína).

La segunda región del gen, la codificadora, contiene la información codificada que establece la secuencia de aminoácidos de la proteína a ser producida.

La secuencia de finalización es la última región del gen. Durante la producción de la proteína, ella marca el extremo del gen, para que no sea “leído” el ADN entero. Esto podría resultar en la expresión de otros genes y en la producción de sus proteínas, que pueden no ser necesarias.

Una de las modificaciones que son necesarias es la incorporación del gen “marcador”. Los genes marcadores de selección son aquellos que expresan caracteres fácilmente visibles, haciendo que sea posible separar las células genéticamente modificadas de aquellas no modificadas.

Los genes marcadores de selección más corrientes codifican proteínas que otorgan resistencia frente a agentes que son normalmente tóxicos para las plantas, como antibióticos o herbicidas. Sólo las células que han integrado a su genoma el gen marcador de selección sobrevivirán y crecerán en un medio que contenga el herbicida o antibiótico apropiado. Actualmente, son más utilizados marcadores no tóxicos, como los azúcares.

Existen varias formas de poner el ADN extra en el núcleo de células de plantas:

#### 1. Sistema *Agrobacterium*

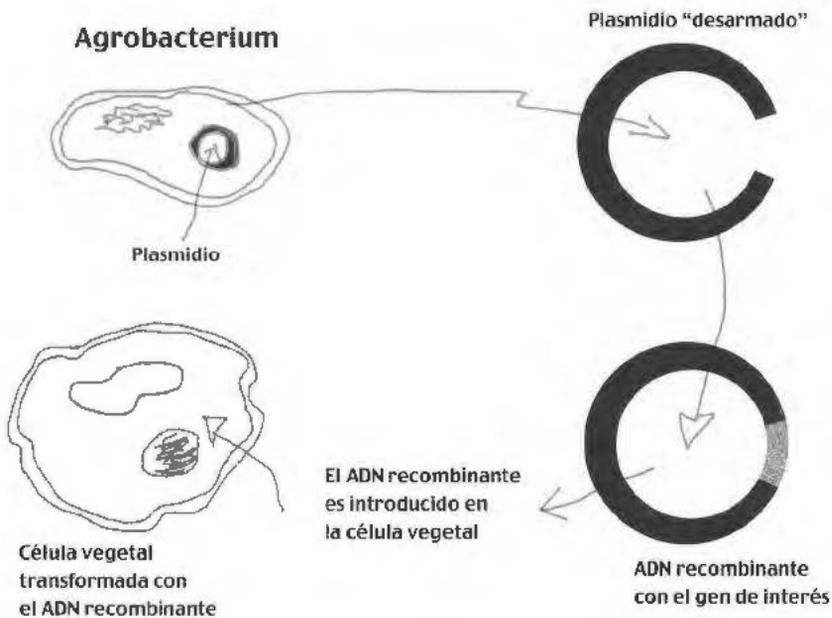
El sistema *Agrobacterium* se ha usado con éxito en las dicotiledóneas (plantas de hojas anchas, como la soya y el tomate), durante muchos años, y, recientemente, también se ha usado para las monocotiledóneas (como las gramíneas y especies relacionadas). *Agrobacterium* es una bacteria del suelo que “trabaja” como un ingeniero genético natural, teniendo la capacidad de infectar las células de las plantas con un pedazo de su ADN, y causando en las mismas las modificaciones de crecimiento conocidas como “agallas”.

La mayoría del ADN de *Agrobacterium* está contenido en una estructura de forma redonda, el plasmidio. El plasmidio contiene un segmento de ADN (T-ADN), que se transfiere a la planta en el proceso de infección.

El *Agrobacterium* inserta su ADN en el ADN de las células vegetales, haciendo que el mismo ordene a estas células multiplicarse descontroladamente y producir sustancias necesarias para la supervivencia de la propia bacteria.

La capacidad de la agrobacteria de insertar parte de su material genético en las plantas, pasó a ser utilizada por los científicos para “engañarla”, haciéndole introducir otro tipo de genes. Para “desarmar” el *Agrobacterium*, es separada la parte del ADN que induce a la formación de las agallas, poniéndose entonces el gen de interés en su lugar, a través de enzimas que actúan como una “cola molecular”, formándose así el llamado ADN recombinante (o ADN en “nueva combinación”).

Cuando la bacteria modificada con el ADN recombinante es puesta en presencia de células vegetales, ella introduce el gen de interés en las mismas, el que empieza a ser parte del genoma de la planta.



## 2. Cañón de genes

También llamado “biobalística”. Las células vegetales son bombardeadas con partículas de oro o tungsteno cubiertas por centenas de copias del gen a ser introducido, que es, entonces, incorporado al ADN de la célula de la planta. Luego se seleccionan las células modificadas, las cuales se multiplican y regeneran en plantas.

## 3. Descarga eléctrica

En este caso, las células a ser transformadas (sin la pared celular) son puestas en un líquido que contiene los genes que se quiere introducir. Una descarga eléctrica de alto voltaje es aplicada por corto tiempo, causando una alteración en la membrana celular, lo que permite a los genes entrar en la célula e integrarse a su genoma.

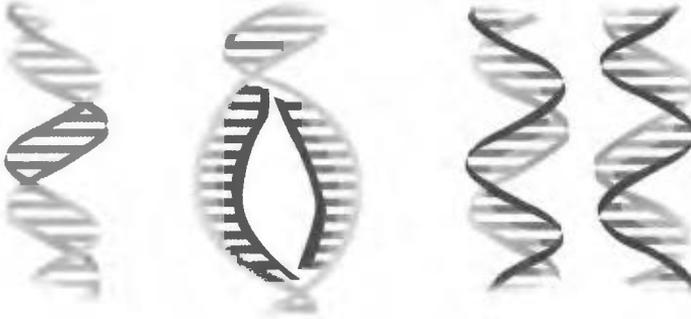
### **Transformación**

Puesto que las plantas tienen millones de células, sería imposible poner una copia del gen modificado, o incluso de un nuevo gen, dentro de cada célula. Pero si una célula modificada genéticamente es puesta bajo condiciones especiales, ella irá multiplicándose hasta producir una planta entera, que tendrá en todas sus células la misma información genética, ahora con la modificación en su genoma. Desde entonces, ella crecerá y producirá semillas que continúan presentando el gen responsable por la nueva cualidad.

¿Y cómo eso es posible?

Eso es posible por dos razones: primero, porque para que un ser vivo crezca, sus células necesitan dividirse para formar nuevas células. Un poco antes que ellas se dividan, el ADN hace copias de sí mismo para pasarlas a las células-hijas, en el proceso llamado duplicación o replicación. Así, la información que está en sus genes no está perdida, pasando a las generaciones siguientes.

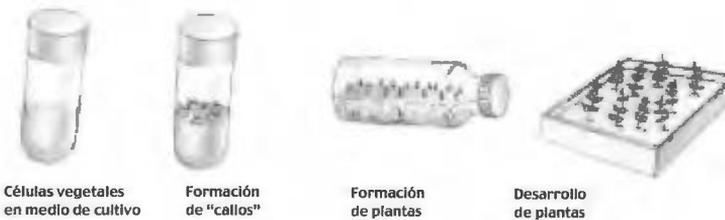
Como el ADN está formado por dos cintas ligadas entre ellas, formando una hélice doble, puede “desenrollarse”, atrayendo las bases para ir pareando con las cintas desenrolladas, volviendo después a enrollarse, y formando dos moléculas idénticas a la original.



Y, en segundo lugar, porque las células de las plantas presentan una característica especial: la totipotencialidad, que es la capacidad de una célula de multiplicarse y originar una nueva planta. El cultivo de tejidos es la tecnología que posibilita que células puestas bajo condiciones especiales (en un medio que contenga sustancias nutritivas y hormonas, bajo condiciones de luz y temperatura adecuadas) puedan originar nuevas plantas o producir determinados metabolitos.

Primeramente, las células empiezan a multiplicarse, formando masas de células indiferenciadas que se llaman "callos". Estas masas se van diferenciando y empezando a formar las raíces, las hojas, hasta regenerar una planta entera.

En la transformación, un nuevo gen es puesto en el núcleo de la célula vegetal e insertado en su ADN, pudiendo pasar después a la descendencia de esa planta.



Células vegetales en medio de cultivo

Formación de "callos"

Formación de plantas

Desarrollo de plantas

Existen varios métodos para identificar las plantas de hecho modificadas: la observación del apareamiento del carácter deseado, el uso de genes marcadores de selección, pruebas de laboratorio que identifican la presencia o no de la proteína codificada por el gen y pruebas de laboratorio que identifican la presencia del propio gen.

De las escasas células que realmente son transformadas, pocas tendrán todas las características necesarias para volverse plantas genéticamente modificadas funcionales, en donde el nuevo gen esté insertado en el lugar correcto y exprese el carácter deseado. Por consiguiente, es parte de la producción de plantas genéticamente modificadas un extenso proceso de evaluación para verificar si el gen que fue modificado –o introducido– está incorporado de una manera estable al genoma vegetal, sin provocar efectos dañinos a las otras funciones de la planta, a la calidad del producto y al agroecosistema donde la planta será cultivada.

La evaluación inicial presta atención especial a la actividad del nuevo gen, a la estabilidad de heredabilidad del gen y a los efectos involuntarios sobre el crecimiento, producción y calidad de la planta. Después de eso, tenemos la evaluación en pruebas realizadas en diferentes lugares por varios años, primeramente en invernaderos y después en el campo, analizando los efectos del nuevo gen y el desempeño general de las plantas. Esta fase también incluye evaluación de los efectos sobre el ambiente y seguridad de los alimentos.

El tiempo necesario para la creación de una planta genéticamente modificada dependerá del gen, de la planta, de los recursos disponibles y de su aprobación y regulación. Eso puede tardar de 6 a 15 años.

# ¿Qué plantas ya fueron genéticamente modificadas?

---

Actualmente, los cuatro países que más producen plantas genéticamente modificadas son Estados Unidos, Argentina, Canadá y China, siendo los principales cultivos modificados la soya, el maíz y el algodón. En varios países de América Latina ya existen a la venta varios productos genéticamente modificados, mientras otros están en etapa de lanzamiento.

### **Plantas tolerantes a herbicidas**

Ya se desarrollaron variedades genéticamente modificadas de algodón, soya, maíz, canola y arroz, capaces de resistir a herbicidas, haciendo posible que los agricultores controlen las plantas invasoras dañinas, con menor número de aplicaciones de productos químicos y proporcionando una buena conservación defensiva del suelo, debido a la menor necesidad de labranza del mismo.

### **Plantas resistentes a los insectos**

Se han desarrollado plantas que se protegen a sí mismas contra los ataques de insectos, produciendo una proteína tóxica sólo para ciertos insectos considerados plagas, encontrada en una bacteria común en el suelo, el *Bacillus thuringiensis* (razón por la cual son llamados cultivos Bt).

Actualmente existen plantas Bt de maíz, algodón y patata, que hacen posible que los agricultores reduzcan los daños y perjuicios a sus plantaciones usando menos pesticida. Además de descomponerse rápidamente en el ambiente y no dejar residuos nocivos, la toxina Bt es inocua para muchos insectos, arañas y animales superiores, así como para el hombre.

### **Plantas resistentes a los virus**

Investigadores están desarrollando plantas de papa, cítricos, maíz, calabaza, papaya, yuca, tomate y arroz que pueden protegerse contra enfermedades virales.

## Productos con mejor calidad nutricional y/o de procesamiento

A través de la biotecnología ya fueron desarrollados alimentos que presentan más nutrientes y vitaminas. Los beneficios van desde la posibilidad de ayudar a las personas de países pobres a lograr las demandas de una dieta básica hasta el desarrollo de alimentos que combaten las enfermedades y mejoran la salud. Podemos tener:

- Aceites del girasol, maní y soya, entre otros, con mejor desempeño en la cocina, manteniendo su textura bajo altas temperaturas y resultando en productos más saludables.
- Soya genéticamente modificada para presentar mayor porcentaje de ácido oleico, una grasa más saludable.
- Tomate de maduración más lenta, que puede quedarse en la planta durante más tiempo, desarrollando así un mejor sabor que el de las variedades comerciales, que son cosechadas verdes; presenta más sabor, color y textura; mayor firmeza, facilitando así el transporte sin la ocurrencia de daños; además de la capacidad de mantenerse fresco por más tiempo.
- Tomates con mayor contenido de sólidos, con buen sabor y textura, para su uso en la preparación de extractos y salsas.
- Tomates genéticamente modificados con contenido mayor de licopeno, un factor nutricional relacionado a la vitamina A.
- Las tierras salinas son un problema creciente en varias partes del mundo, siendo muchas plantas cultivadas, incluso el tomate, eliminadas por niveles altos de sal en el suelo y en el agua de irrigación. El desarrollo de tomates tolerantes al exceso de sal haría posible el cultivo en tierras consideradas inadecuadas para la agricultura.

### CURIOSIDAD

Antiguamente, los soldados romanos colocaban sal en la tierra de los pueblos conquistados para que éstos no pudiesen usarla para la agricultura.

- En el futuro, tendremos girasol, soya, canola, trigo y tomate resistentes a los insectos; trigo, girasol y remolacha tolerantes a herbicida; así como tomate y plátano resistentes a virus.

- El arroz es la comida básica en muchos países, particularmente en Asia, sin embargo no contiene vitamina A o sus precursores inmediatos. Está siendo desarrollado un arroz capaz de sintetizar beta-caroteno (el precursor de la vitamina A), y aún con más hierro. Este producto, llamado “arroz de oro”, reducirá el riesgo de ceguera causado por la deficiencia de la vitamina A (principalmente en los niños) y ayudará a evitar la anemia por la deficiencia de hierro –problemas serios en los países en desarrollo.
- Árboles, como álamo y abeto, han sido transformados genéticamente para que adquieran resistencia a los insectos, tolerancia a herbicidas y mayores posibilidades de obtener cantidades más grandes de producto comercial.
- Vid resistente a las enfermedades bacterianas.
- Céspedes tolerantes a herbicidas, a enfermedades e insectos, que presentan baja velocidad de crecimiento (poca necesidad de cortes constantes), además de resistencia a la sequía, al calor y al frío.
- Plantas genéticamente modificadas con capacidad de sintetizar y acumular proteínas antigénicas, pudiendo ser usadas en el futuro como vacunas comestibles contra enfermedades infecciosas. Debido a su sabor y adaptación a ambientes tropicales, el plátano se ha modificado genéticamente para contener “vacunas” contra el cólera, hepatitis B y diarreas, estando los resultados en proceso de evaluación.

Los científicos están trabajando en la mejora, tanto nutricional como de otras cualidades, de varios alimentos, y se espera, para antes del año 2005, el lanzamiento en el mercado de:

- melones más pequeños, sin semillas;
- frutas y verduras que se conserven frescas durante más tiempo y duren más. Ejemplos: fresa, cereza, tomate, plátano y piña;
- plátanos más dulces y más nutritivos;
- maní libre de sustancias alergénicas;
- patata y arroz enriquecidos con proteínas;
- aceite de canola con más vitamina E;
- frutas y hortalizas con mayores niveles de anti-oxidantes;
- patatas con más almidón, lo que reduciría la cantidad de aceite absorbido en la fritura, pudiendo obtenerse frituras más saludables.

## **Riesgos y cuidados que deben ser tomados**

Como la biotecnología de plantas involucra la introducción en el ambiente de organismos vivos, que pueden crecer y reproducirse, ella es diferente de otros tipos de tecnología, debiendo, por eso, ser tomadas precauciones especiales en su uso, por lo cual la responsabilidad de los científicos no termina en el laboratorio.

Por eso es importante la bioseguridad, que estudia los cuidados que debemos tener en el uso de la biotecnología para que no haya riesgos a la salud del ser humano y de los animales, y para no perjudicar el ambiente.

La seguridad en la biotecnología se garantiza a través del estudio de todos los posibles riesgos y de la manera de manejar los mismos en cada una de las fases de desarrollo de una planta genéticamente modificada. Cada fase del proceso de creación de esas plantas sólo es iniciada después de analizadas las informaciones obtenidas en la fase anterior.

## **Evaluación y control de los riesgos**

Las preocupaciones principales en cuanto a la bioseguridad, en la evaluación de plantas genéticamente modificadas, son: la posibilidad de traslado de los nuevos genes a otros organismos, las consecuencias para el medio ambiente y los efectos sobre la salud humana y animal.

*Cada invención o técnica que influencie el equilibrio existente entre las diferentes formas de vida tiene que ser extensivamente probada antes de ser empleada en gran escala.*

Antes de ser autorizado para consumo, cualquier derivado de la biotecnología tiene que ser sometido a exhaustivas pruebas y tener su seguridad estimada por científicos y especialistas en nutrición, toxicología, alergias y otros aspectos de la ciencia alimentaria.

Normalmente, en primer lugar, el cultivo genéticamente modificado es comparado con el mismo tipo de cultivo obtenido por vía convencional, con el propósito de verificar si la alteración genética que fue realizada modificó substancialmente el metabolismo de la planta o su valor nutritivo.

Desde que el primer alimento genéticamente modificado, un tomate de maduración lenta, fue producido y aprobado para el consumo en un país desarrollado, en 1994, un número cada vez más grande de alimentos genéticamente

modificados se ha comercializado y se ha consumido con seguridad en el mundo entero. Como los productos genéticamente modificados son sometidos a múltiples pruebas antes de llegar al mercado, ellos son mucho más controlados que los productos convencionales.

Como el mejoramiento de plantas logrado a través de la ingeniería genética hace posible, selectivamente, introducir en estas una sola característica, la oportunidad de crear plantas con propiedades indeseables es menor que simplemente con el uso de las técnicas convencionales donde, inevitablemente, se introducen caracteres indeseables junto con aquéllos deseados.

Además, como la biotecnología involucra, normalmente, la modificación o introducción de uno o, a lo sumo, de pocos genes muy bien definidos, las pruebas de toxicidad para plantas genéticamente modificadas son más precisas que para las plantas con nuevas características producidas a través de las técnicas convencionales.

Debemos aprovechar al máximo las ventajas y beneficios traídos por las plantas genéticamente modificadas, pero con rigurosas normas de evaluación de los posibles efectos de su liberación en la naturaleza. Estas evaluaciones deben incluir experimentos en el laboratorio y en el campo, en pequeñas áreas, evaluándose cuidadosamente las posibles consecuencias ecológicas. En especial, las cuestiones de la supervivencia y de la reproducción de la planta modificada y sus interacciones con el ecosistema y con todos los otros organismos del ambiente son de gran importancia.

Como ocurre con cualquier nueva tecnología, las personas pueden tener dudas en cuanto a su seguridad. Las mayores inquietudes de la sociedad frente a este tema son:

1. Una de las preocupaciones del público con respecto a los alimentos genéticamente modificados es que un alergénico (proteína que causa una reacción alérgica) pueda ser introducido accidentalmente en el alimento. Afortunadamente, los investigadores tienen amplio conocimiento con respecto al tipo de alimentos que causan reacciones alérgicas, siendo muy bien caracterizados los alergénicos existentes que, por consiguiente, no serán introducidos en un alimento genéticamente modificado.

Comparados con los cultivos convencionales, los genéticamente modificados pueden tener sólo una pocas proteínas introducidas. Todas ellas son objeto de pruebas específicas y tiene que ser demostrado que la ingestión de las mis-

mas no trae riesgos para la salud. En la realidad, la biotecnología incluso podrá ser usada para “desconectar” genes responsables por la alergenicidad de algunos alimentos. Sin embargo, debe continuarse con la biovigilancia y el respeto a las normas legales, así como desarrollarse estudios clínicos continuos.

*Después del logro de innumerables pruebas, se concluyó que los cultivos genéticamente modificados, y los productos de ellos derivados, no son peligrosos para la salud.*

2. Otra preocupación es la posibilidad de “escape” de los genes de los cultivos modificados e hibridación con especies salvajes, creándose así “super-invasoras”. El riesgo potencial de que los genes introducidos pasen a los parientes salvajes, creando nuevas invasoras, es reducido a través de monitoreos constantes.

Pruebas realizadas por más de 10 años en cultivos genéticamente modificados ya cultivados comercialmente no encontraron riesgos más grandes de cruzamientos que en plantas no modificadas. Además, las plantas cultivadas no sobreviven durante mucho tiempo sin los cuidados inherentes al cultivo.

Sin embargo, en países que presentan una biodiversidad muy grande, donde las especies próximas a los cultivos modificados genéticamente son numerosas, la biovigilancia debe ser más severa para evitar el “escape” de genes. Es importante que la evaluación de los cultivos genéticamente modificados se haga individualmente, caso a caso.

3. Existe la preocupación de que los genes usados como marcadores de selección (aquéllos utilizados para identificar en laboratorio las células de hecho modificadas) podrían transferirse de los cultivos genéticamente modificados a los microorganismos normalmente existentes en el intestino humano y así contribuir a un aumento de la resistencia antibiótica. Esta probabilidad es sumamente remota e, incluso en la hipótesis improbable de que eso ocurra, el impacto de este traslado no sería importante, puesto que los marcadores usados en los cultivos genéticamente modificados no son usados en tratamientos en humanos o animales.

Sin embargo, frente a las preocupaciones de la sociedad, los científicos están evitando el uso de genes de resistencia antibiótica en las plantas modificadas, y están desarrollando y evaluando marcadores alternativos, basados en azúcares principalmente.

4. Otra preocupación es la posibilidad de que insectos desarrollen resistencia a las toxinas producidas por los cultivos genéticamente modificados. El uso de “refugios” manejados evitaría este problema. Los refugios son áreas al lado de los cultivos modificados donde son cultivadas plantas de la misma especie, no modificadas, para que los insectos que han adquirido cierta resistencia se crucen con aquéllos que no la adquirieron, reduciendo así el riesgo de resistencia. Pero, la adaptación de organismos al ambiente es normal, y los insectos pueden desarrollar resistencia a toxinas, independientemente de que sean modificadas genéticamente o no.

5. Otra inquietud es que toxinas producidas por plantas genéticamente modificadas puedan afectar a otros insectos u organismos que no sean la meta. En cuanto a eso, nunca se ha verificado un efecto directo de esas toxinas en otros organismos. Sin embargo, se debe realizar un monitoreo constante.

Los aspectos que deben ser considerados, cuando se introduce un organismo genéticamente modificado en el ambiente, son múltiples y complejos. Sin embargo, estos organismos deben ser evaluados de acuerdo con sus propiedades biológicas y no según la metodología usada para su obtención. Si una planta fue genéticamente modificada para pasar a presentar alguna alteración en el contenido de aminoácidos, aceite o almidón, por ejemplo, es muy probable que esta nueva característica no altere de manera sustancial el potencial de supervivencia de esta planta. Por consiguiente, ella no afectará el ambiente, el ecosistema y otras especies.

## **Derechos y Obligaciones. La Propiedad Intelectual**

Para que aumente la cantidad de nuevos productos de la biotecnología y para que éstos se dispersen por el mundo, pudiendo todos ser beneficiados, y para que los agricultores tengan acceso garantizado a estos productos, debe darse un incentivo a los inventores y propietarios de las nuevas tecnologías.

Los agricultores y consumidores tienen el derecho de usar los nuevos productos, sin embargo ellos también tienen la obligación de reconocer que quien creó tales productos tiene la propiedad intelectual sobre ellos. La propiedad intelectual es, entonces, el derecho que tienen los científicos que crearon la nueva tecnología sobre ella, de tal modo que quien quiera usarla debe tener el consentimiento de estos para hacerlo.

Sin embargo, el problema es que en la biotecnología, a diferencia de lo que pasa con tecnologías que tratan con productos materiales, los organismos vivos (como las plantas, por ejemplo), que llevan la información genética, tienen la capacidad de reproducirse y eso dificulta la protección de la propiedad intelectual, facilitando la “piratería”.

#### **CONOCIENDO UN POCO MÁS**

Los derechos a la propiedad intelectual son limitados en tiempo (20 años) y no existen patentes internacionales. Las innovaciones tecnológicas son libremente accesibles después de 20 años o en países donde no se solicitó la protección.

Es muy cara y difícil la creación de una nueva planta genéticamente modificada. En la construcción y mantenimiento de laboratorios, y en el pago de buenos científicos, se gasta mucho dinero. Es justo que lo que fue invertido sea recuperado. Sin la protección de la propiedad intelectual, las compañías no tendrían las condiciones para continuar haciendo las investigaciones necesarias para el desarrollo de nuevas tecnologías.

Normalmente, sin embargo, en los países en desarrollo, la falta de buenas leyes sobre la propiedad intelectual y la dificultad para garantizar que se respeten los derechos sobre ella, hace que las instituciones de investigación y las compañías que crean estas nuevas tecnologías no quieran volverlas disponibles en esos países. Eso no es bueno, ya que lleva a que estos países no puedan usar las nuevas tecnologías, tan importantes para el desarrollo de la agricultura y para la economía de valiosos recursos ambientales.

*La biotecnología no promete resolver todos los problemas de la agricultura, pero ofrece una nueva forma de controlar plagas y enfermedades, puede producir plantas de mejor calidad nutricional, aumentar el rendimiento de los cultivos y ayudar a proteger el ambiente. Su uso con discernimiento ofrece opciones para acelerar el desarrollo tan necesario a nuestra región.*

---

## EVALUACIÓN

---

Estimado profesor: la evaluación es parte integral del proceso de formación del estudiante, por cuanto hace posible diagnosticar los aspectos pertinentes, para verificar los resultados alcanzados, considerando los objetivos propuestos e identificando cambios de rumbo eventualmente necesarios. Lo que se debe evaluar no es la cantidad de conocimiento adquirido, sino la capacidad de integrarlo y aplicarlo y de buscar otros para lograr lo que se propone. Por consiguiente, los instrumentos de evaluación sólo logran su finalidad si ellos pueden diagnosticar el uso funcional y contextualizado del conocimiento.

Para que la evaluación logre lo que se propone, ofrecemos algunos métodos: Si usted quiere saber la información aprendida por sus estudiantes, trabajando los contenidos, use la prueba de opción múltiple; ahora, si usted piensa trabajar también la construcción del conocimiento de sus estudiantes, proponemos la ejecución de:

### Diario de viaje (1)

Después de la lectura de los "cómic" y de las discusiones en la clase sobre los contenidos de los mismos, pida a los estudiantes que escriban, estableciendo las relaciones con lo que saben, su propio "Viaje al centro de la hoja".

### Diario de viaje (2)

Los estudiantes repasarán lo que escribieron en los diarios de sus propios viajes, y luego pensarán en imágenes que podrían ilustrar el viaje, dibujando algunas de ellas, describiendo lo que simbolizan para ellos.



## Marque la respuesta correcta

1. Biotecnología es:

- Una tecnología moderna, inventada por los científicos.
- Algo que ya existe hace mucho tiempo.

2. La domesticación de plantas:

- Ya era realizada hace centenares de años.
- Empezó a ser realizada sólo en los últimos años.

3. Es ejemplo de biotecnología tradicional:

- La producción de un automóvil.
- La producción de la cerveza.

4. Poseen ADN:

- Todos los seres vivos.
- Sólo las plantas.

5. El ADN es formado principalmente por:

- Adenina, guanina, timina y citosina.
- Células y cromosomas.

6. Las plantas genéticamente modificadas:

- Pueden presentar alguna cualidad especial.
- Siempre son más grandes y más sabrosas.

7. Puede ponerse en una célula un gen que nosotros quisimos usando:

- Una bacteria.
- Un ratón del laboratorio.

8. La creación de una planta genéticamente modificada:

- Es muy fácil y rápida.
- Es difícil y realizada sólo por buenos científicos.

9. Después de desarrollada, una planta genéticamente modificada es:

- Pronto liberada para la comercialización y consumo.
- Sometida a varias pruebas antes de ser liberada.

10. Biotecnología de plantas:

- Es la solución mágica para todos los problemas de la agricultura.
- Puede ayudar a aumentar la producción agrícola.

Publicación en Chile,  
octubre 2004,  
a cargo de:



**REDBIO Chile**



**GOBIERNO DE CHILE**  
FUNDACION PARA LA  
INNOVACION AGRARIA