

## La transformación genética de plantas

**A través de técnicas biotecnológicas y del ADN recombinante el "intercambio" de genes de utilidad entre especies distintas es una realidad concreta...**

Hugo Campos de Quiróz  
Ing. Agrónomo



Una de las bases del mejoramiento genético es la creación y posterior manejo de la variabilidad genética existente en una especie. La variabilidad genética es la "materia prima" con la cual trabajan los mejoradores, y gracias a ella es posible identificar plantas con diferentes características. Además de la variabilidad genética, existe otra fuente de variación, la variabilidad ambiental. En ausencia de variabilidad genética todas las plantas de una especie serían iguales, a excepción de las diferencias que origine entre ellas la variabilidad ambiental.

Tradicionalmente, el método para generar variabilidad ha sido mediante cruzamiento dirigidos entre materiales que reúnan una o más características deseables para el mejorador, pudiendo ser los cruzamientos entre individuos de la misma especie o de especies diferentes.

Con el desarrollo, a partir de la década de los años 70 de técnicas moleculares y de ADN recombinante, las cuales permiten manipular la información genética que porta un organismo, se han generado otras técnicas para generar variabilidad genética, revolucionariamente diferentes a las técnicas tradicionales del mejoramiento. Una de ellas es la transformación genética, tópicamente sobre el cual versa el presente artículo.

### ¿Qué es un gen?

Un gen corresponde a una pequeña porción de ADN (Acido Desoxirribonucleico), la cual dirige la producción de una proteína específica. El ADN es la molécula que reúne la información genética de una especie. El ADN, y por lo tanto los genes, se organizan en los cromosomas, los cuales se encuentran en el núcleo de las células.

Los genes portan la información genética, la cual es específica para cada individuo, estableciendo así su genotipo, cuya expresión se regula por la acción del medio ambiente. El número de genes que existen en las diversas especies es elevado. Mientras en el hombre se estiman en unos 100000 el número de genes, en una planta se identifican aproximadamente 50000 genes.

### ¿Qué es una transformación genética?

En forma natural, en las plantas el flujo de información genética se produce gracias a la reproducción sexual, a través de la fecundación del óvulo por parte de un grano de polen.

**Una transformación genética es el proceso a través del cual se transfieren genes o información genética (trozos de ADN), de un organismo a otro en forma artificial. Lo anterior se realiza a través de vectores.**

Mediante las transformaciones genéticas se obtiene variabilidad genética, puesto que se introduce información genética a la planta que recibe los genes. Además, se posibilita la transferencia de información genética entre especies diferentes, puesto que la información genética se codifica del mismo modo en bacterias, animales y plantas. Por lo tanto, teóricamente, la información genética de una especie puede incorporarse y ser utilizada en otra especie, y así caracteres útiles para los mejoradores existentes en una especie determinada pueden ser transferidos a otras especies.

### ¿Qué es un vector?

Un vector es un agente que facilita una o más etapas del proceso total de la transferencia de material genético entre plantas. La función del vector es, en resumidas cuentas, transportar los genes de interés desde el organismo donante hasta el organismo receptor.

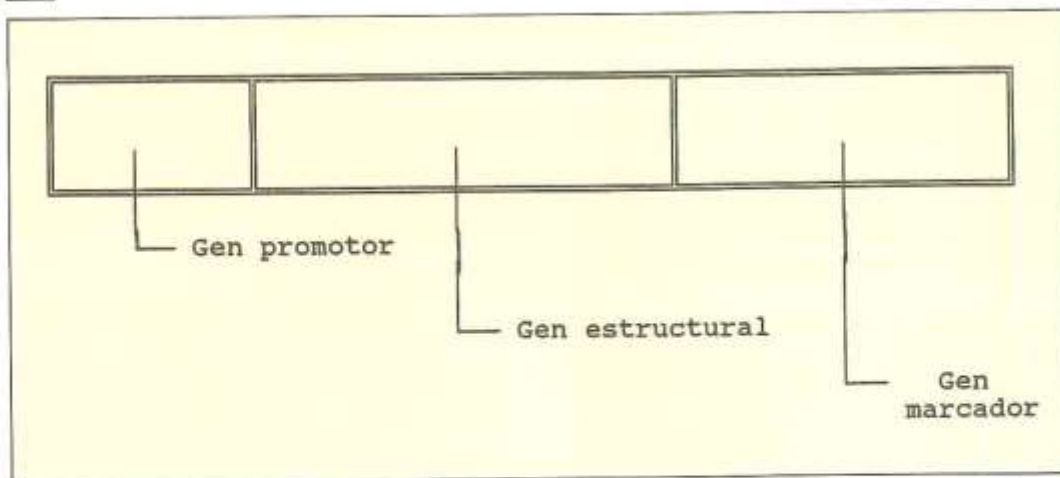
Uno de los vectores más exitosamente utilizados son ciertas bacterias habitantes del suelo, productoras de las enfermedades denominadas "agallas del cuello" y "proliferación radicular" en frutales. Tales bacterias poseen un plásmido (porción de ADN extracromosomal), el cual transfieren a las plantas infectadas por ellas.

La principal limitante que presenta este sistema son los escasos resultados obtenidos hasta el momento con cereales (trigo, arroz, maíz), puesto que dicho grupo de plantas no son huéspedes naturales de las bacterias señaladas, por lo que no son infectados por ellas.

Existen algunos sistemas de transformación genética que no requieren el uso de vectores para transferir genes. Entre ellos se cuentan el uso de la microinyección de genes, que utiliza jeringas microscópicas para insertar genes al núcleo de células vegetales. Otro método utilizado es la "pistola genética", la cual básicamente funciona disparando proyectiles de oro o tungsteno, de 0,000004 metros de diámetro y recubiertos con la información genética a transferir, los cuales se dirigen hacia el tejido vegetal a transformar. De este modo, ya se han transformado células de maíz, arroz, soya y cebolla.

### ¿Cuál es la naturaleza de la información a transferir?

En general, no basta con introducir un gen útil a una planta. Es necesario construir "genes quiméricos" (Figura 1), los cuales se forman por los siguientes tipos de genes:



- \* **Gen regulador:** Los genes reguladores son genes que promueven, controlan y estimulan la expresión del gen útil. Sin genes promotores o reguladores, la expresión del gen introducido no se realiza, y por lo tanto la planta no se transforma genéticamente.
- \* **Gen estructural:** El gen estructural es aquél que codifica la información útil para el mejorador de plantas.
- \* **Gen marcador:** El gen marcador es aquél gen que se introduce con el objeto de comprobar en forma rápida, confiable y económica la existencia y expresión del gen útil dentro de la planta transformada.

Generalmente se utilizan como genes marcadores a genes que codifican la resistencia a algún producto antibiótico. Al cultivar las células teóricamente transformadas en la presencia del antibiótico, sólo sobrevivirán las células que posean el gen que otorga resistencia al antibiótico, las cuales además poseen el gen útil para el mejorador de plantas, puesto que la información contenida en el gen quimérico incluye la información útil para el mejorador, así como la resistencia al antibiótico.

Por lo tanto, para transformar genéticamente a una planta, debe construirse un gen quimérico, el cual se constituye por el gen promotor, el gen estructural y el gen marcador. La figura de esta página esquematiza la estructura de un gen quimérico:

#### ¿Qué tipo de información genética es factible de ser transferida?

Desde un punto de vista teórico, cualquier gen de interés para los mejoradores, proveniente de cualquier especie animal o vegetal, podría introducirse a las plantas. Sin embargo, aún existen numerosos problemas de índole técnico, por lo cual la investigación hasta el momento se ha focalizado principalmente en las siguientes áreas:

- \* Desarrollo de plantas tolerantes a virus e insectos

Existe una bacteria del género *Bacillus*, la cual produce en forma natural un compuesto de acción tóxica frente a algunos insectos del orden Diptera (moscas, minahojas) y Lepidoptera (polillas). En varias especies como raps, tomate y tabaco, se está intentando transferir el gen que codifica la síntesis de tal proteína, para así generar plantas tolerantes al ataque de insectos.



En relación a los virus, se intenta transferir a plantas cultivadas los genes que codifican la formación de la cubierta viral, puesto que se ha observado que de este modo se genera una cierta forma de resistencia cruzada contra otros virus.

\* Incremento de la eficiencia fotosintética

La utilización de la energía lumínica por parte de las plantas es muy baja, utilizándose en la fotosíntesis no más del 2% de la energía solar recibida por las plantas.

A través de la biología molecular se intenta incrementar la actividad de una enzima denominada Rubisco, la cual está involucrada en el proceso de la fotosíntesis.

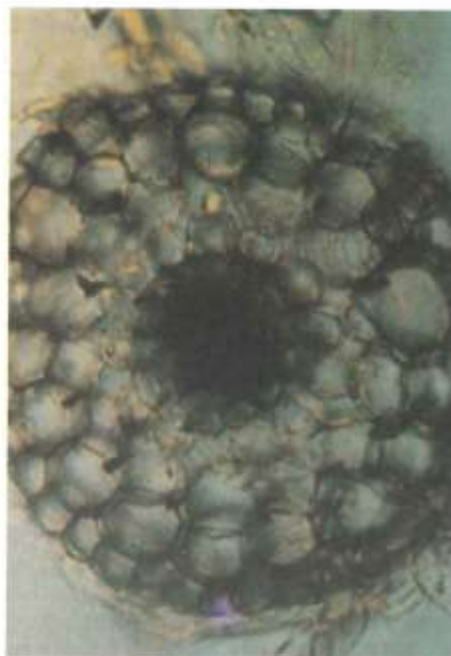
La modificación de dicha enzima puede aumentar la eficiencia fotosintética de las plantas, incrementando la efectividad en el uso de la energía solar y reduciendo la fotorespiración. De este modo, pueden obtenerse aumentos en la productividad y rendimiento de los cultivos.

\* Manipulación de la fijación simbiótica de nitrógeno

Se han identificado y aislado los genes involucrados en la fijación simbiótica de nitrógeno existente entre plantas leguminosas y bacterias del género *Rhizobium*, los cuales podrían transferirse a especies como los cereales (trigo, cebada, avena) o las crucíferas (raps), las cuales en condiciones naturales no fijan nitrógeno atmosférico. Sin embargo, existen una serie de limitantes fisiológicas que dificultan esta transferencia de genes.

\* Mejoramiento de la calidad nutritiva de los productos agrícolas

En Chile, sobre un 50% de las calorías consumidas por el hombre provienen de los cereales, los cuales poseen en general un contenido medio de proteína del orden del 9-10%. La proteína de los cereales se caracteriza por presentar una baja cantidad de un aminoácido esencial (el cual



no es producido por el hombre, sólo lo adquiere a través de la dieta), denominado Lisina. Del mismo modo, las leguminosas de grano (arveja, haba, poroto, lenteja) son deficientes en otro aminoácido esencial, la Metionina.

A través de la biología molecular, se han identificado los genes que codifican la producción de proteína en varias especies, los cuales se intentan traspasar a otras especies deficitarias en proteína de calidad. Ejemplo de lo anterior es la incorporación de los genes que codifican la producción de las proteínas de reserva del poroto y el maíz (faseolina y zeína, respectivamente) a la maravilla, para así mejorar el aporte proteico de la maravilla. De este modo, mediante las transformaciones genéticas es factible incrementar la calidad nutritiva de los alimentos básicos beneficiando a la población que los consume.

\* Desarrollo de plantas resistentes a herbicidas

Un área en la cual se están llevando a cabo numerosas investigaciones es el desarrollo de plantas resistentes a herbicidas, con el objeto de ampliar las condiciones de cultivo de la especie transformada y reducir el número de aplicaciones de herbicidas por parte de los agricultores. Además, el desarrollo de plantas resistentes a herbicidas origina un mercado muy grande y exclusivo para las primeras empresas productoras de agroquímicos que desarrollen plantas resistentes a herbicidas, puesto que sus productos presentarán una gran ventaja sobre otros herbicidas, derivada de la resistencia a los herbicidas presentada por las plantas transformadas genéticamente.

Es en esta área de trabajo en la cual se dimensiona la potencialidad de la ingeniería genética de plantas, puesto que, como se señala a continuación, los genes de resistencia a distintos herbicidas proceden de muy distintas especies:

- \* En raps, se han liberado en Canadá las siguientes variedades resistentes a herbicidas del grupo de las triazinas: Triton, Tribute, Triumph y Stallion. Los genes de resistencia a los herbicidas se transfirieron al raps a partir de plantas de yuyo mediante una técnica biotecnológica denominada fusión de protoplastos (un protoplasto corresponde a una célula vegetal desprovista de su pared celular) y cruzamientos interespecíficos entre dichas especies.
- \* Se han desarrollado plantas de papa, tabaco, tomate y raps resistentes al herbicida glufosinato. Este herbicida no se comercializa en Chile, y presenta la ventaja de controlar tanto malezas gramíneas como de hoja ancha. El gen que confiere la resistencia al herbicida se aisló de una bacteria, cuyo nombre científico es *Streptomyces hygrosopicus*. Mediante técnicas biotecnológicas el gen se aisló de la bacteria, se insertó en las plantas de raps y éstas lo expresa-

ron, resultando así plantas resistentes a dosis 20 veces más elevadas que las recomendaciones habituales del herbicida.

- \* Plantas de maíz resistentes a herbicidas del grupo de las triazinas han sido desarrolladas, introduciendo un gen mutante que produce una enzima que inactiva a los herbicidas dentro de la planta.
- \* Plantas de tabaco resistentes a herbicidas del grupo de las sulfonilureas han sido desarrolladas a partir de un gen introducido de una maleza Crucífera denominada *Arabidopsis thaliana*, la cual no se encuentra en nuestro país.
- \* Plantas de raps resistentes a herbicidas del grupo de las sulfonilureas se han generado mediante el uso de mutaciones inducidas y cultivo de tejidos.
- \* La resistencia al herbicida glifosato se obtuvo a partir de un gen perteneciente a una bacteria, *Salmonella typhimurium*. Plantas de tabaco y petunia han sido transformadas, con el fin de obtener plantas resistentes al glifosato.

Como se desprende de la información entregada, la transformación genética de plantas es una herramienta biotecnológica sumamente poderosa, la cual ya superó la etapa de laboratorio para pasar al campo de las aplicaciones prácticas, interactuando estrechamente con la labor habitual de los mejoradores de plantas. Una gran cantidad de investigación básica y aplicada se ha realizado en plantas Solanáceas (petunia, papa, tabaco, tomate), Umbelíferas (zanahoria) y Crucíferas (*Arabidopsis* sp, raps). En nuestro país, la investigación referente a transformaciones genéticas de plantas se está llevando a cabo con la papa, intentando obtener plantas resistentes a pudriciones bacterianas.