

BIOTECNOLOGÍA MODERNA, PLANTAS TRANSGÉNICAS Y AGROBIODIVERSIDAD: OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS

W. Roca*

RESUMEN

Evolución de la tecnología

El avance de la genética molecular y celular, y el poder de las tecnologías de información, ha creado una nueva plataforma, la biotecnología. Combinada con la genómica y la bioinformática, la biotecnología abre un camino para lograr ganancias de productividad asociados con el mayor y mejor uso de los recursos genéticos. Esto constituye una de las oportunidades más importantes para la inversión en biotecnología sobre todo por los países ricos en biodiversidad. Este avance de la ciencia ha sido exponencial en los últimos 30 años, teniendo a la producción de las primeras moléculas de ADN recombinante en 1973 como el punto que condujo a la generación de organismos genéticamente modificados mediante la ingeniería genética; y al mapeo genómico de numerosas especies que está cambiando casi totalmente el mejoramiento genético convencional. Actualmente, la genómica y la bioinformática están generando catálogos completos de todos genes, su localización y función (1); se ha terminado la secuencia completa del genoma de *Arabidopsis*, y se ha anunciado el primer "catálogo" de la secuencia del genoma del arroz; mediante tecnologías de miniaturización y automatización se está masificando el estudio de todo el genoma y no sólo de unos pocos genes. Estos pasos permitirán localizar y determinar las funciones de los genes, y el análisis masivo de la expresión de genes. Esto podrá ser usado para modular y modificar las rutas metabólicas de la planta mediante ingenierías genéticas complejas, y obtener productos mejorados en el futuro.

La biotecnología y la agrobiodiversidad van de la mano, mientras que la biotecnología ofrece herramientas para entender, conservar y usar los recursos genéticos, estos son fuente de genes para el mejoramiento de los cultivos, dentro y entre especies (Fig. 1).

La conservación de la agrobiodiversidad y el desarrollo agrícola adquieren co-dependencia ya que, mientras que sin una agricultura apropiada los ecosistemas pueden ser transformados drásticamente; sin la biodiversidad, la agricultura no puede prosperar. Por ejemplo, la biotecnología puede ayudar a ampliar la base genética de los cultivos, mediante la identificación y transferencia de genes y compleja de genes útiles de especies silvestres a variedades cultivadas; esto ha sido demostrado en tomate y arroz. También, la selección de genotipos con caracteres útiles puede ser más efectiva usando marcadores genéticos

* CIP, Lima. Presentación en la ALAP, Quito, Junio 3-7, 2002

moleculares (2). La Tabla 1 presenta una lista de algunas tecnologías moleculares y celulares actualmente en uso para ayudar al manejo, conservación y mejoramiento de los cultivos.

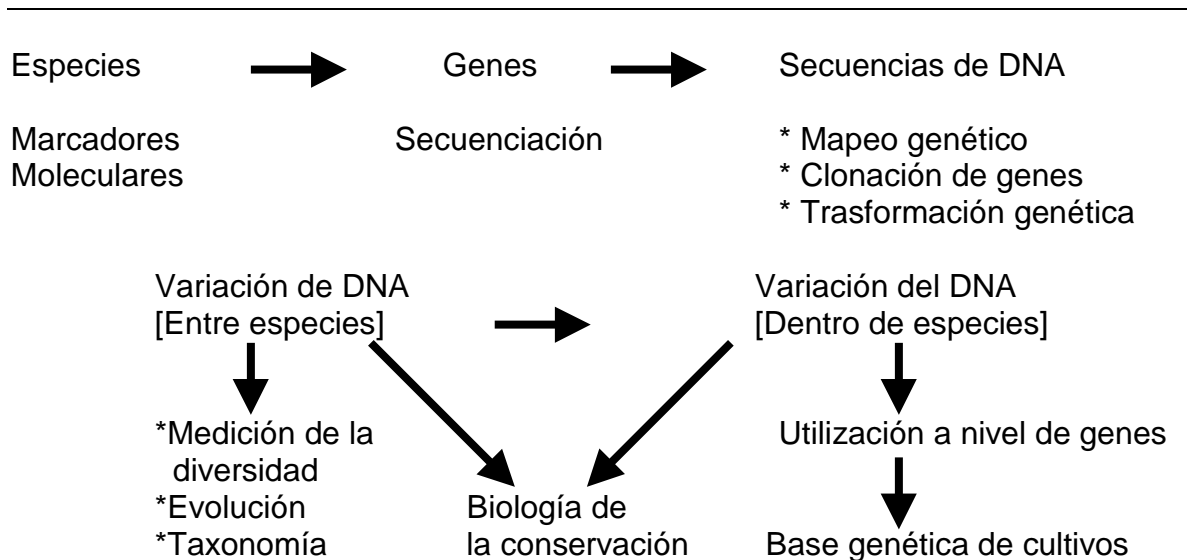


Figura 1. Relaciones entre la biotecnología y la agrobiodiversidad para el entendimiento, la conservación y el uso de los recursos genéticos.

Cultivos transgénicos

La modificación genética de las plantas contribuye a aumentar la eficiencia de la agricultura; por lo tanto, contribuye también a la conservación de la agrobiodiversidad. La modificación genética de los cultivos se inicia con los agricultores hace miles de años, siendo la domesticación a partir de los parientes silvestres la base de la agricultura moderna aquí, los procesos de selección, mutación y flujo de genes han contribuido a la evolución. Luego, la genética Mendeliana, que usa la hibridación y recombinación dirigida, y la búsqueda de individuos útiles como metodología de mejoramiento; actualmente, la transgénesis, mediante el uso de la ingeniería genética, no es sino un proceso adicional de mejoramiento de los materiales mejorados por nuestros antepasados.

Tabla 1. Uso de tecnologías moleculares y celulares en el manejo y conservación y uso de los recursos fitogenéticos.

Areas y objetivos	Tecnologías
1. Caracterización y racionalización de germoplasma - Identidad genética - Colecciones nucleares - Distancias genéticas - Selección de parentales	Marcadores moleculares (dactiloscopia genética) - Microsatélites - AFLPs - RAPD - PCR
2. Generación de variabilidad - Cruzas inter.-específicas - Transformaciones complejas - Transgénesis	Recombinación y transferencia de genes - Rescate de embriones - Marcadores moleculares (QTLs): Microsatélites, RFLPs, ESTs - Aislamiento, clonación y transformación genética
3. Selección de variación útil - Marcación de genes - Doble haploides	Identificación y fijación de genes y genotipos - Mapas y marcadores moleculares - Cultivo de microsporas y óvulos
4. Multiplicación y distribución - Identidad/pureza - Clonación	- Marcadores moleculares - Micropropagación

La ingeniería genética enriquece el vocabulario genético de las plantas, adicionando una o más “palabras”, al acervo del genotipo correspondiente a la especie y variedad. A comienzos de los 90’s la China fue el primer país que cultivó tabaco transgénico resistente a virus; en 1994, la compañía Calgene desarrolló un tomate de maduración retardada (Flavr-Savr), el cual convirtió en el primer producto alimenticio derivado de plantas transgénicas. En los últimos años los cultivos transgénicos han llegado a los campos del agricultor en por lo menos 7 países industrializados y 8 en desarrollo. En los últimos años, se ha registrado una adopción sin precedentes de los cultivos transgénicos. El área total en el año 2,000 ha alcanzado 40 millones de has, con el 75% en países industrializados y el resto concentrado en pocos países en desarrollo ubicados en zonas templadas (3). El impacto de esta primera generación de cultivos transgénicos incluye: menor uso de pesticidas químicos, mayor flexibilidad en el manejo de los cultivos, beneficiando principalmente al agricultor y las empresas de semillas, pero en

menor grado a los consumidores. Los rasgos mejorados incluyen la tolerancia a herbicidas y la resistencia a insectos, y entre los cultivos se encuentran principalmente aquellos de importancia en países temperados: la soya, maíz y canola. Para el caso de la soya y el algodón, casi el 50% del área global cultivada ha sido con transgénicos en el año 2000, mientras que para el maíz sólo el 7%. Los principales actores en la industria global de semilla transgénica se encuentran las compañías DuPont, Pioneer, Monsanto, Novartis, Aventis, Limagrain.

Se estima que más del 60% de los alimentos procesados en los mercados de EE.UU. y otros países (pizzas, hojuelas de papa, galletas, helados, aderezos para ensaladas, miel de maíz, etc.) contienen desde mediados de los 90's, ingredientes derivados de soya, maíz y canola transgénicos.

Una observación a la producción global de cultivos nos indica que entre 75-90% del área de frutas y hortalizas, maíz, arroz y algodón está en los países en desarrollo; más aún, las tasas de crecimiento proyectadas para estos cultivos para los próximos 20 años van 1.5% para arroz, 2% para maíz y 2.8% para papa (Tabla 2). La pérdida reportada por ataque de plagas para cultivos como el arroz, la papa y el maíz es de 15-20% sobre una producción anual de más de 2,000 millones de TM. Esta situación ofrece una oportunidad importante para el uso de cultivos transgénicos en los países en desarrollo de mayor área de producción. En 1999, 1.3 millones de agricultores Chinos cultivaron 3 millones de has de algodón transgénico (Bt), y un millón de has de tabaco con resistencias transgénica a virus; y actualmente se evalúan más de 100 transgenes en 47 cultivos; se proyecta que en 10 años, 30-80% del arroz, trigo, maíz, soya, papa, tabaco, algodón, hortalizas y oleaginosas serán transgénicos en la China.

Tabla 2. Producción global y proyección de crecimiento de algunos cultivos alimenticios.

Cultivos	Producción global millones TM	En países en desarrollo(*)	Tasa de crecimiento proyectada para el 2020(**)
Frutas y hortalizas	880	755	--
Maíz	570	75%	2.0%
Arroz	530	93%	1.5%
Algodón	18	80%	--
Papa	285	30%	2.8%
Yuca	172	100%	2.0%
Trigo	--	--	1.5%
Camote	158	98%	1.5%

(*) Krattiger, A. (1998)

(**) Scott, G. et al (2000)

Transgénesis y mejoramiento convencional

La tecnología de transgénesis más utilizada está basada en un proceso natural desarrollado a través de los años por la bacteria del suelo *Agrobacterium tumefaciens*: la bacteria coloniza genéticamente a las células vegetales, transfiriendo parte de su cromosoma (T-ADN) plasmídico al genoma de las plantas donde se integra y funciona produciendo mensajes de RNA y proteínas específicas. Este segmento del plásmido se ha modificado de tal manera que lleva el(los) gene(s) de interés. El transgén es un gen foráneo o endógeno modificado para ser introducido mediante la bacteria, puede ser de origen vegetal, animal o quimérico.

La estructura del transgén es muy similar a la de los genes endógenos; además de contener las regiones propias de todos los genes que llevan los códigos para proteínas específicas, para la iniciación de la lectura en un tejido y tiempo determinado y para terminar la lectura, se le han adicionado otras secuencias, ej. una que ayuda a seleccionar las células transformadas, y otra a monitorear de manera precisa la presencia del transgén en sucesivas generaciones, usándolo como marcador genético.

Teniendo los mismo objetivos, el proceso de recombinación genética es similar para la transgénesis y el mejoramiento convencional, con la diferencia importante que en el método convencional se maneja segmentos de ADN muy grandes, conteniendo otros genes cuya introducción no se desea. Esto obliga a realizar un proceso largo, muchas veces infructuoso, de retrocruzas al parental recurrente. En cambio, el transgén no contiene más que las secuencias necesarias para la integración y expresión buscada.

Otra diferencia importante es que la transgénesis, en principio, no tiene límites respecto a la fuente de los genes a ser utilizados. Recientes avances están permitiendo usar promotores que sea inducibles en el desarrollo de la planta en cierto tipo de células y tejidos; también se está desarrollando genes marcadores no antibióticos, lo cual ha sido indicado como deseable para la percepción de la tecnología por el público.

Avances en el conocimiento genético de las plantas indican que la distribución de genes no es al azar; por ejemplo, existen sitios de agrupación de genes de resistencia para diferentes enfermedades, etc. También se ha conocido que la recombinación no es al azar, y está restringida a ciertas zonas "calientes" del genoma; esto último es importante en el proceso de transformación genética.

Desafíos

Como toda tecnología nueva, la transgénesis enfrenta importantes desafíos como resultado de la percepción del público en general, de tendencias ambientalistas y económicas, y de la predominancia de las compañías multinacionales en el desarrollo y beneficios de la tecnología.

Se han identificado riesgos potenciales inherentes a la tecnología, para la salud y el medio ambiente (4). Este último, se refiere especialmente a los riesgos potenciales para la biodiversidad. Aquí se han propuesto como riesgos, la adquisición por parte del cultivo de rasgos “maleza”, el desarrollo de resistencias en las plagas y la dispersión o flujo del transgén.

Riesgos potenciales para el ambiente: flujo e introgresión de genes

De todos los riesgos potenciales atribuidos a los cultivos transgénicos, el flujo de genes y su impacto en la biodiversidad, permanece todavía para ser estudiado y evaluado, especialmente en regiones o países que son centros de origen o centros de diversidad genética. Se han diseñado estrategias y metodologías de evaluación de riesgo bien aceptadas para los otros riesgos potenciales de los cultivos transgénicos.

El flujo vertical de cultivo a cultivo o a parientes silvestres es relevante. Pero el flujo de genes (transgenes) en sí no es lo crucial; debe haber producción de híbridos viables que expresen el transgén y que adquieran capacidad de adaptación en hábitats naturales o de cultivo.

Hay que tener en cuenta que el flujo de genes es una de las fuerzas del proceso de evolución y domesticación de los cultivos y que no es extraño que algunos cultivos, ej. trigo, canola, han resultado de la recombinación de más de un genoma.

Para determinar el potencial del flujo de genes en la agrobiodiversidad, cada cultivo debe ser analizado con respecto a los siguientes factores: biología reproductiva, modificación genética (naturaleza del transgén, número de copias insertadas, expresión), dispersión del polen, flujo de genes de cultivo a cultivo (hibridización-posibles consecuencias), definición y estatus de la planta silvestre o maleza, flujo de genes del cultivo a parientes silvestres (compatibilidad y distribución), hibridización, posibles consecuencias del flujo)(5).

Entre los factores que afectan la dispersión del polen y la polinización-cruzada se encuentra: tamaño (área) del cultivo fuente y receptor de polen, vectores de polen, factores ambientales (clima, barreras biológicas y físicas), viabilidad del polen, grados de alogamia en el cultivo, grado de sincronización en la floración.

Bajo la condición de que el flujo de genes haya sido exitoso, el proceso que sigue es la hibridización y la introgresión.

Entre los factores que determinan la posibilidad de formación de híbridos entre plantas de cultivos transgénicos y parientes silvestres, permitiendo su establecimiento en hábitats agrícolas o naturales, se encuentran:

- (i) Producción de semilla híbrida viable
 - Compatibilidad de los dos genomas parentales
 - Habilidad del endospermo para soportar el desarrollo del embrión híbrido
 - Dirección del cruzamiento

- (ii) Establecimiento de plantas híbridas a partir de semilla
 - Dormancia de la semilla
 - Vigor de la planta híbrida
 - Hábitat: silvestre, semi-silvestre, agrícola
 - Efecto de pestes, enfermedades, otros predadores

- (iii) Habilidad del híbrido para la propagación vegetativa o sexual
 - Método de propagación
 - Persistencia de propágulos
 - Diseminación de propágulos
 - Sistema de cruzamiento sexual
 - Fertilidad masculina/femenina
 - Dormancia de semilla
 - Hábitat (6), (7), (8)
 - Pestes, enfermedades, etc.

Típicamente, se han reportado tasas de flujo de genes entre cultivos y parientes silvestres de 1% pero puede llegar hasta 100% cuando el cultivo y los silvestres se encuentran muy cercanos (7). En algunos casos, las poblaciones de especies silvestres introgresadas mostraron mayor diversidad genética que aquellos que se encuentran separados del cultivo (8). La introgresión por flujo de genes ha jugado un papel importante en la evolución/domesticación de una docena de especies estudiadas (9).

Se hace un análisis del flujo de transgenes para el caso de la papa, teniéndose en cuenta factores como: relaciones entre especies y ploidía, distribución de la diversidad en el campo, presencia de gametos no reducidos, número de balance de endospermo, vectores de polen, presencia de alelos de compatibilidad y simpatria entre los cultivos transgénicos y las especies silvestres relacionados (9).

La biotecnología ofrece potencial para desarrollar una agricultura más compatible con el uso sostenible de los recursos naturales. Esto se puede lograr conectando la conservación y uso de la biodiversidad con el desarrollo sostenible de la agricultura. La biotecnología está contribuyendo a revelar en detalle y precisión la estructura genética de las plantas y de la biodiversidad, y este conocimiento está contribuyendo a aumentar la productividad de áreas intervenidas, a reducir la contaminación ambiental y agregar valor a la agrobiodiversidad.

Agradecimientos:

A M. Ghislain, R. Hijmans, F. Rodríguez, L. Ñopo, A. Panta y M. Ames por su continua colaboración en diversos aspectos del desarrollo y aplicación de la biotecnología y la bioseguridad en el CIP.

Bibliografía:

1. Mazur, B., Krebber, E., Tingey, S. 1999. Gene discovery and product development for grain quality traits. *Science*, 285:372-382.
2. Beebe, S. 2000. Personal communication.
3. James, C. 2000. Global review of commercialized transgenic crops. ISAAA Briefs No. 21, Ithaca, N.Y.
4. National Academy Press. 2000. Transgenic plants and world agriculture. Nat. Ac. Press, Washington, D.C., 40 p.
5. Eastham, K. and Sweet, J. 2002. Genetically modified organisms (GMOs): The significance of gene flow through pollen transfer. European Environment Agency, Environment issue report No. 28, Copenhagen, 75 p.
6. Klinger, T. 2001. Variability and uncertainty in crop-to-wild hybridization, p.1-14 In: D.K. Letoumuan and B.E. Burrows (eds), Genetically Engineered Organism, Assessing environmental and human health effects. CAC Press, New York.
7. Bartsch, D. Lehven, M., Clegg, J., Pohl-Orf, M., Shuphan, I., and Ellstrend, N. 1999. Impact of gene flow from cultivated beet on genetic diversity of wild sea beet populations (Manuscript).
8. Ellstrend, N.C., Prentice, H., Hankcock, J.F. 1999. Gene flow and introgression fro domesticated plants into their wild relatives. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 30:539-563.
9. Frederick, R., Virgin, I., and Lindarte, E. 1995. Riesgos ambientales de las plantas transgénicas en centros de diversidad: la papa como modelo. Memorias del Taller Regional, Igueru, Argentina. Biotech. Advisory Comisión, IICA. 78 p.

