

# Estado actual y perspectivas de la comercialización de plantas transgénicas

✉ Ariel D Arencibia Rodríguez, Pedro Oramas Frenes

División de Plantas. Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología. AP 61 62, CP 10600.  
Ave. 31 entre 158 y 190. Cubanacán. Ciudad de La Habana, Cuba.  
Fax: (53-7) 21 4764; E-mail: ariel.arencibia@cigb.edu.cu

*Biotecnología Aplicada 1999;16(Número especial):E7-E11*

## Introducción

La introducción de plantas transgénicas (PT) en el mercado agrícola desempeñará un papel muy importante en la búsqueda de una vía sostenible para resolver los problemas de la alimentación y el desarrollo mundial en los próximos años. Esta cuestión adquiere una mayor relevancia en los países del Tercer Mundo, que tienen las mayores superficies cultivables del planeta y donde se concentran pérdidas significativas de las cosechas, causadas fundamentalmente por el uso de estrategias de explotación no intensivas. En estos países no existen los recursos financieros, o la disposición política, para hacer grandes inversiones en la compra y aplicación de productos químicos, problema que tiene solución en los países desarrollados. Por ende, el empleo de PT en los países subdesarrollados, podría constituir una de las herramientas más importantes para satisfacer los problemas alimentarios de una población que crece cada día y que hoy tiene aproximadamente unos 800 millones de personas.

Por otra parte, en los países desarrollados, más allá de los grandes intereses económicos, existen tendencias que han obligado a sus gobiernos y compañías a preocuparse cada día más por los efectos adversos al ambiente, producidos por la aplicación intensiva de compuestos químicos para la protección vegetal. También es casi imposible desarrollar una agricultura totalmente orgánica para alimentar a una población mundial cada vez más numerosa, como sugieren en estos momentos los movimientos ecologistas de algunos países de Europa Occidental. De hecho, en esta región, a pesar de las campañas más radicales en contra de la explotación de las PT, ya se comienza con la introducción comercial de esta nueva tecnología como una vía integral para el desarrollo sostenible de la agricultura. Debido a los beneficios y expectativas que brindan las PT, el número de países donde se comercializan ha aumentado de 1, en 1992, a 9, en 1998, y se prevé que para el año 2000 sean entre 20 y 25 los países que siembren materiales transgénicos de forma comercial.

El objetivo de este trabajo es ofrecer al lector una visión del desarrollo y aplicación de las PT, haciendo énfasis en la dinámica de crecimiento anual entre 1995 y 1998, por cultivos, tipo de carácter mejorado y países, además de ofrecer datos referidos a las ganancias obtenidas en este período. De igual modo, se muestra el estado actual del desarrollo de esta tecnología en Cuba.

## Situación mundial

Como se muestra en la Tabla 1, en 1998, el mundo tenía un total de 27,8 millones de hectáreas plantadas con cultivos transgénicos, con un incremento, en el período 1997-1998, de 16,8 millones de hectáreas. El in-

Tabla 1. Área total de cultivos transgénicos en 1996, 1997 y 1998 [1].

	Hectáreas*	Incremento anual*
1996	1,7	-
1997	11,0	9,3
1998	27,8	16,8

\*Millones.

cremento global continuado en los últimos dos años, reafirma la motivación de un cada vez mayor número de países (Tabla 2), tanto industrializados como en vías de desarrollo (Tabla 3), para realizar inversiones en la tecnología de PT.

## Distribución de plantas transgénicas por cultivos y caracteres

La Tabla 4 muestra una dominancia en el incremento del área de soya transgénica, seguida por el maíz, en el año 1998. Por otra parte, se observa que sólo cuatro cultivos ocupan 99% del área global de PT. La soya retuvo la primacía en el crecimiento por segundo año consecutivo, debido al incremento significativo de la superficie sembrada con plantas resistentes a herbicidas en los Estados Unidos y Argentina, así como su introducción en el mercado canadiense. Por su parte, el maíz retuvo el segundo lugar mundial con 30% del total y se destaca la introducción por primera vez de PT con genes para la resistencia a insectos en países de la Comunidad Europea como España y Francia.

Tabla 2. Distribución por países del área total de plantas transgénicas sembradas de forma comercial en 1997-1998 [1, 2].

País	1997*	1998*	Incremento*
Estados Unidos	8,1	20,5	12,4
Argentina	1,4	4,3	2,9
Canadá	1,3	2,8	1,5
Australia	0,1	0,1	< 0,1
México	< 0,1	< 0,1	< 0,1
China	< 0,1	< 0,1	< 0,1
España	0	< 0,1	< 0,1
Francia	0	< 0,1	< 0,1
Sudáfrica	0	< 0,1	< 0,1

\*Millones de hectáreas.

Tabla 3. Área total de cultivos transgénicos en países industrializados y en vías de desarrollo [1, 2].

	1997*	1998*	Incremento*
Países industrializados	9,5	23,4	13,9
Países en vías de desarrollo	1,5	4,4	2,9

\*Millones de hectáreas.

1. James C. Global review of commercialized transgenic crops: 1998. ISAAA Briefs No. 8. Ithaca, USA.

2. James C. Global status of transgenic crops in 1997. ISAAA Briefs No. 5. Ithaca, USA.

Tabla 4. Distribución del área total de plantas transgénicas por cultivo [1, 2].

Cultivo	1997	%	1998	%	Incremento
Soya	5,1	46	14,5	52	9,4
Maíz	3,2	30	8,3	30	5,1
Algodón	1,4	13	2,5	9	1,1
Colza	1,2	11	2,4	9	1,2
Papa	< 0,1	< 1	< 0,1	< 1	< 0,1
Total	11,0	100	27,8	100	16,8

El tercer lugar lo mantiene el algodón, el cual se siembra actualmente en los Estados Unidos, Australia, México, China, Argentina y Sudáfrica. En este caso, se destaca la siembra de un total de 40% de plantas modificadas para un carácter simple y el resto para caracteres combinados.

En la Tabla 5 se muestra el incremento del área plantada con PT en dependencia del carácter mejorado. En 1998, la resistencia a herbicidas continuó ocupando la primera atención de los productores y, además, muestra los mayores incrementos anuales, siendo los Estados Unidos el mayor responsable de este incremento, donde el área total de cultivos resistentes a herbicidas alcanzó alrededor de 9 millones de hectáreas. Tres países (Estados Unidos, Argentina y Canadá) sembraron un total de 20 millones de hectáreas de plantas resistentes a herbicidas en 1998.

El carácter resistencia a insectos también muestra un crecimiento significativo y ocupa un área total global de 7,7 millones de hectáreas y por primera vez se hace evidente la introducción al mercado de PT combinadas para la resistencia a herbicidas y a insectos.

La Tabla 6 muestra una lista de las PT que se han aprobado para su comercialización hasta 1998. Se puede observar cómo la producción e introducción al mercado de cultivos transgénicos se realiza por compañías pertenecientes a países altamente desarrollados, siendo significativa la cantidad de ellas radicadas en los Estados Unidos. Se debe tener en cuenta que estas compañías son las que han introducido los cultivos transgénicos en países como Argentina, Australia, México, Sudáfrica y España.

## Beneficios de los cultivos transgénicos

Es importante notar que los estimados de los beneficios que se hacen hasta el momento, son limitados solamente a aquellas fuentes que están disponibles y más bien indican la magnitud de lo que se podría llegar a obtener con esta tecnología. Beneficios múltiples han sido señalados por los productores de algunos cultivos transgénicos como: a) mayor flexibilidad en términos de manejo agronómico; b) disminución de la dependencia en la utilización de productos químicos convencionales y de última generación y c) mayores rendimientos con menor grado de afectación al ambiente.

Tabla 5. Distribución del área total de plantas transgénicas por caracteres mejorados [1, 2].

Carácter	1997	%	1998	%	Incremento
Tolerancia a herbicidas	6,9	63	19,8	71	12,9
Resistencia a insectos	4,0	36	7,7	28	3,7
Resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas	< 0,1	< 1	0,3	1	0,2
Caracteres cualitativos	< 0,1	< 1	< 0,1	< 1	< 0,1
Total	11,0	100	27,8	100	16,8

Tabla 6. Plantas transgénicas aprobadas hasta 1998.

Cultivo	Carácter agronómico incorporado	Compañía
Maíz	Tolerancia al herbicida Glufosinato	AgrEvo y DeKalb Genetics Corp.
	Tolerancia al herbicida Glufosinato	PGS
	Tolerancia al herbicida Sethoxydim	BASF
	Tolerancia al herbicida Glifosato	Monsanto Co.
	Resistencia a insectos	Monsanto Co.
	Resistencia a insectos	Mycogen
	Resistencia a insectos	Novartis Seeds
	Resistencia a insectos y Glufosinato	DeKalb Genetics Corp
	Resistencia a insectos y Glifosato	AgrEvo, DeKalb Gen. Corp, Novartis Seeds
	Esterilidad masculina	Monsanto Co.
Esterilidad masculina y tolerancia a Glufosinato	Pioneer Hi-Bred International	
Colza	Tolerancia al herbicida Glufosinato	PGS
	Tolerancia al herbicida Glifosato	AgrEvo
	Tolerancia al herbicida Bromoxynil	PGS
	Esterilidad masculina y tolerancia a Glufosinato	Monsanto Co.
Tomate	Modificación de ácidos grasos	Rhone-Poulenc
	Retardamiento de la maduración	PGS
	Aceleramiento de la maduración	Calgen Inc.
Algodón	Resistencia a virus (TMV, CMV)	DNA Plant Tech, Zeneca/ y Monsanto Co.
	Tolerancia al herbicida Glifosato	China
	Tolerancia al herbicida Bromoxynil	Monsanto Co.
	Tolerancia al herbicida Sulfonylurea	Calgen Inc.
	Resistencia a insectos	Du Pont
Calabaza	Resistencia a insectos	Monsanto Co.
	Resistencia a insectos y Glifosato	China
	Resistencia a virus (WMVZ)	Monsanto Co.
	Resistencia a virus (ZYMV)	Asgrow Seed Co.
	Resistencia a virus (CMV)	Asgrow Seed Co.
Soya	Resistencia a virus (ZW20)	Seminis Vegetable Seeds
	Resistencia a virus (CZW3)	Seminis Vegetable Seeds
	Tolerancia al herbicida Glufosinato	AgrEvo
Papa	Tolerancia al herbicida Glifosato	Monsanto Co.
	Calidad del aceite	Du Pont
Tabaco	Resistencia a insectos	Monsanto Co.
	Resistencia a insectos y a virus (PLRV)	Monsanto Co.
Remolacha	Tolerancia al herbicida Bromoxynil	Seita
	Resistencia a virus (TMV, CMV)	China
Papaya	Tolerancia al herbicida Glufosinato	AgrEvo
	Tolerancia al herbicida Glifosato	Monsanto Co.
Clavel	Resistencia a virus (RSV)	Cornell U./U. Of Hawaii
Achicoria	Modificación del color de las flores	Florigene
Lino	Esterilidad masculina	Bejo-Baden
	Tolerancia al herbicida Sulfonylurea	Univ. Saskatchewan

Fuente. Clive James, 1998.

Diversos factores pueden variar los valores absolutos de los beneficios netos, como, por ejemplo: a) tipo de cultivo transgénico; b) variaciones climáticas en diferentes años; c) nivel de epidemia o infestación por malas hierbas o insectos y d) condiciones específicas de manejo de los cultivos transgénicos. La Tabla 7 muestra los beneficios estimados por hectárea de algunos de los cultivos más estudiados, y la Tabla 8, el estimado global de los beneficios netos obtenidos utilizando cultivos transgénicos en el período 1995–1998.

## Beneficios potenciales del uso de la tecnología de PT

Se destaca que la tecnología basada en el uso de PT ha sido la de más rápida introducción en la historia de la agricultura mundial, y se encuentra actualmente entre las diez de mayor aceptación, comportamiento que

Tabla 7. Estimado de los beneficios obtenidos por hectárea con la utilización de plantas transgénicas [1].

Cultivo	Beneficio (USD / hectárea)	Período
Soya-tolerante herbicida	29,64	-
Maíz-resistente insectos	42,00	1997
Algodón-resistente insectos	133,00	1997
Papa-resistente insectos	47,00	1996-1997
Maíz-resistente insectos	67,30	1996
Algodón-resistente insectos	175,00	1996
Algodón-tolerante herbicida	19,76	1997
Colza-tolerante herbicida	39,19	1996-1997

Tabla 8. Estimado global de los beneficios obtenidos por el mercado de cultivos transgénicos en el período 1995-1998 [1].

Año	Beneficios*	Incremento*
1995	75	-
1996	235	160
1997	670	435
1998	1200-1500	530-830

\*Millones USD.

se pronostica que continuará en los próximos 20 años. Hasta 1998, los principales cultivos transgénicos en el mundo, en orden descendente eran: soya, maíz, colza, algodón y papa. Alrededor de la mitad del área total global de transgénicos fue plantada con soya tolerante a herbicida, una cuarta parte con maíz resistente a insectos, y 10% con colza tolerante a herbicida, y algodón tolerante a herbicida e insectos, respectivamente. El maíz tolerante a herbicida ocupó 5%.

Por otra parte, 84% del área total global de PT, correspondiente a 23.3 millones de hectáreas, fue cultivada en los Estados Unidos y Canadá. Mientras estas proporciones pudieran parecer impresionantes, en particular por la rápida adquisición de esta tecnología por parte de los productores, son modestas, en realidad, en comparación con lo que se pudiera obtener en los próximos años. La Tabla 9 ilustra los beneficios potenciales que producirían algunos cultivos transgénicos a nivel mundial, y pone énfasis en las expectativas para los países en desarrollo.

Para los países del denominado Tercer Mundo, se señala que esta tecnología contribuiría a su desarrollo integral dentro de un programa de agricultura sostenible y estas potencialidades se avalan por las siguientes causas: a) presentan las mayores áreas de cultivo del planeta; b) los rendimientos actuales son bajos debido a la falta de recursos para llevar una agricultura intensiva y sostenible con el uso de productos químicos; c) presentan una población estimada de

Tabla 9. Área potencial global de algunos cultivos transgénicos. Comparación entre América del Norte y los países en desarrollo [1].

Cultivo	Países en desarrollo*	América del Norte*
Arroz	145	1
Trigo	104	37
Maíz	91	31
Soya	37	29
Algodón	25	5
Papa	8	0,6
Colza	15	5
Tomate	2	0,2

\*Millones de hectáreas.

800 millones de personas que sufren de malnutrición con tendencia a incrementar y d) tienen las mayores fuentes de recursos genéticos disponibles del planeta.

## Situación actual de la producción de PT en Cuba

Nuestro país ha realizado inversiones significativas en el desarrollo de la tecnología de PT desde la década de 1980. El líder nacional en el desarrollo de esta tecnología es el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Ciudad de La Habana y sus sedes en las provincias de Camagüey y Sancti Spiritus. Recientemente, a esta iniciativa se han sumado, en forma de proyectos de colaboración, otras instituciones como el Centro de Bioplantas de Ciego de Ávila y el Instituto de Biotecnología de las Plantas de Villa Clara. La Tabla 10 ofrece una panorámica de las principales líneas de trabajo que se realizan, desglosadas por cultivo, carácter a mejorar e instituciones involucradas.

Estos proyectos tendrán un gran impacto en la economía cubana, ya que están encaminados a elevar los rendimientos agrícolas o a diversificar la calidad del producto final, sobre la base de problemáticas que no se pueden resolver en estos momentos por otra vía que no sea la transgénesis de plantas.

## Perspectivas de la comercialización de PT en Cuba

Se espera que en un período de dos a cinco años, en dependencia del cultivo, se introduzcan progresivamente a la comercialización las primeras variedades transgénicas.

Tabla 10. Proyectos sobre plantas transgénicas que se desarrollan en Cuba.

Cultivo	Varietal	Carácter mejorado	Estado en 1998*	Centro
Caña de azúcar	B4362	Resistencia a hongo. Tolerancia a Glufosinato	2	CIGB
	Ja60-5	Resistencia a hongo. Tolerancia a Glufosinato	2	CIGB
	CP52-43	Tolerancia a Glufosinato	2	CIGB
	Ja60-5	Resistencia a insecto	2	CIGB
	Ja60-5	Resistencia a insecto. Tolerancia a Glufosinato	2	CIGB
	Ja60-5	Resistencia a insecto. Tolerancia a Glufosinato	1	CIGB
	Ja60-5	Alteración del contenido de lignina. Alimentación animal	1	CIGB
Papa	B4362	Producción de FOS	1	CIGB
	Désirée	Resistencia a hongo	1-2	CIGB
Papaya	Désirée	Resistencia a virus	1	CIGB
	Maradol	Resistencia a virus. Tolerancia a Glufosinato	2	IBP- CIGB
Tomate	Campbell-28	Resistencia a virus	1	CIGB-CENSA
	Campbell-28	Resistencia a hongo	1	CIGB
Maíz	FR 28	Resistencia a insecto. Tolerancia a Glufosinato	1	CIGB
Boniato	CENSA 7B354	Resistencia a insecto	1-2	CIGB-Cam
Arroz	J-104 IAC 19	Resistencia a hongo. Tolerancia a Glufosinato	1	CIGB-SS
	J-104 IAC 19	Resistencia a insecto. Tolerancia a Glufosinato	1	CIGB-SS
Banano		Resistencia a hongo. Tolerancia a Glufosinato	1	IBP-CIGB
Café		Resistencia a insecto	1	IBP-CIGB
Cítricos		Resistencia a virus	1	Bioplantas-IC-CIGB
		Resistencia a hongo. Tolerancia a Glufosinato	1	Bioplantas -CIGB
Piña		Resistencia a insecto. Tolerancia a Glufosinato	1	Bioplantas -CIGB
		Resistencia a virus. Tolerancia a Glufosinato	1	Bioplantas -CIGB

\*1: laboratorio; 2: parcela experimental en instituciones especializadas de mejoramiento genético.

seguridad biológica de la institución y después por el CNSB, el cual confiere, en primera instancia, una licencia para la liberación con objetivos de experimentación, y posteriormente, autoriza su posible comercialización. El expediente se debe de entregar simultáneamente a la agencia del medio ambiente para que se otorgue la licencia ambiental y, con ambos permisos, es que se procede a la liberación de la planta transgénica al campo.

Los análisis se hacen sobre las bases científicas de los siguientes riesgos potenciales: a) posibilidad de la trasmisión del gen foráneo a otras variedades, o especies silvestres relacionadas, mediante la polinización cruzada; b) desarrollo o aceleración de la aparición de fuentes genéticas de resistencia por parte del organismo controlado, en dependencia del carácter mejorado; c) desarrollo o aceleración de la aparición de fuentes genéticas de resistencia por parte de otros organismos que comparten el ecosistema de la planta, por ejemplo, otros insectos Lepidópteros para el caso de la resistencia al bórer (*Diatraea saccharalis*) en la caña de azúcar y d) producción de efectos colaterales tóxicos o alérgicos al hombre.

La posibilidad de ocurrencia de estos riesgos se controla con un efectivo manejo agronómico dentro de un programa integrado de cultivos transgénicos y con disciplina tecnológica. Además, se conocen estrategias encaminadas a solucionar estos riesgos, como, por ejemplo: a) la producción de híbridos transgénicos que producen polen estéril; b) utilización de barreras biológicas a la dispersión efectiva del polen; c) empleo de proteínas altamente específicas para el control de insectos; d) aplicación de estrategias dirigidas a la manipulación de mecanismos de protección diferentes en el control de insectos, hongos, virus, etc.; e) utilizar los herbicidas como marcadores de selección y no antibióticos; f) manejo de variedades transgénicas integrado a los denominados nichos de plantas no transgénicas y g) controlar la introducción y uso de las PT en sus centros de origen y biodiversidad.

## Derechos de propiedad intelectual

La biotecnología, y dentro de ella la ingeniería genética de plantas, constituye una tecnología que agrupa a diversas fuentes del conocimiento como la microelectrónica, la automatización, los nuevos materiales, la informática y las comunicaciones. Esto hace que los programas de biotecnología se vayan haciendo cada vez menos dependientes de los recursos naturales y, por tanto, los manejos para la protección de la propiedad intelectual desempeñen un papel decisivo.

Durante la década de 1990, los derechos a la propiedad intelectual han llamado la atención de gobiernos, políticas de mercado y científicos, tanto de los sectores privados como públicos de todo el mundo. Éstos han sido tratados con fuerza en la Ronda de Uruguay y en la Organización Mundial del Comercio, que han hecho realidad la implementación de algunos aspectos relacionados con la propiedad intelectual. Sin embargo, los países en desarrollo no tienen certeza del modo en que estos derechos a la propiedad intelectual pueden contribuir a promover el crecimiento económico, catalizar las innovaciones, así como a incentivar las inversiones de una forma recíproca.

El impacto de la propiedad intelectual no debe abarcar sólo al producto terminado, que generalmente es importado. Se exige, además, que deberá proteger y manejar la biodiversidad existente en los países en desarrollo, principales poseedores de los recursos genéticos del planeta. Han surgido organizaciones, como el International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA), que están desempeñando un papel importante como intermediario entre los generadores de la propiedad biotecnológica agrícola de los países desarrollados y los clientes de los países en desarrollo. Su objetivo es convertir los derechos a la propiedad intelectual en beneficios mutuos que abarquen también a los que aplican y consumen la agrobiotecnología.

Un aspecto importante que implicaría cambios rápidos en la política de propiedad intelectual en la industria biotecnológica, es el siguiente: los diferentes componentes que conllevan a la obtención de una planta transgénica provienen frecuentemente de compañías que compiten entre sí; por ejemplo, el gen es patentado por una parte, la metodología de transformación por otra, y los sistemas de expresión por una tercera. Para que se tenga una idea general, la comercialización de un cultivo transgénico puede tener hasta más de 20 interferencias de patentes, lo que complica la negociación de licencias con beneficios aceptables para todas las partes. Esto apunta a que cada vez sea más importante que todas las partes involucradas en la propiedad intelectual bioagrícola, y organizaciones como el ISAAA, desarrollen esfuerzos que contribuyan a la transferencia de estas tecnologías a los países en desarrollo, que en realidad deben ser los más necesitados de garantizar su seguridad alimentaria.

## Tendencias y futuro de los cultivos transgénicos

- La industria agrobiotecnológica se encuentra en plena evolución sobre la base de adquisiciones, alianzas y surgimientos de nuevas transnacionales en correspondencia con el proceso de globalización de la economía mundial. En los últimos tres años, se realizaron aproximadamente 50 transacciones con un valor estimado de 17 mil millones de dólares.
- Surgimiento de compañías, independientes o asociadas a grandes transnacionales, que realizan inversiones en el mapeo de genes vegetales y en los estudios encaminados a la producción de fármacos y vacunas en PT. Se estima que aproximadamente 500 millones de dólares han sido invertidos entre 1996 y 1998 con estos fines y se destacan los estudios de la estructura, función y aplicación de genomas modelos como el de *Arabidopsis*, arroz, maíz, trigo, soya y algodón.
- La aceptación de la tecnología de las PT por un número cada vez mayor de países, incluida la Comunidad Europea, donde se establecen las moratorias para la futura comercialización en España, Francia, Reino Unido, Dinamarca, Austria, Luxemburgo y Grecia. Se pronostica la inclusión, en 1999, de Brasil, el mayor mercado de América Latina, así como la próxima introducción en países de Europa Oriental y la India.