



Los cultivos transgénicos en 2007. Adopción, impacto y perspectivas futuras

Desde su primera comercialización a fines de los 90` los cultivos transgénicos han sido adoptados cada vez en mayor medida en todo el mundo a una tasa sin precedentes. Concretamente, según un informe publicado en febrero de 2008 por el Servicio Internacional para la Adquisición de las Aplicaciones Agrobiotecnológicas (ISAAA), desde su comercialización inicial en 1996, el área global de cultivos transgénicos pasó de 1,7 millones de hectáreas en seis países, a 114,3 millones de hectáreas en 23 países en 2007. Es decir que el área de cultivos transgénicos se incrementó en un 12% con respecto a 2006, alcanzando las 114,3 millones de hectáreas, el segundo incremento más alto de los últimos 5 años. Considerando todo el período 1996-2007, hoy el área sembrada con transgénicos en todo el mundo es de 690 millones de hectáreas.

Esta rápida adopción de la biotecnología agropecuaria responde a los beneficios que ofrece, entre ellos la estabilidad y sustentabilidad de la producción agropecuaria mejorando el rendimiento de los cultivos (más alimentos sin aumentar significativamente el área sembrada), el incremento del valor nutricional de los alimentos y la expansión de los procesos y productos vinculados al sector agropecuario a otras áreas industriales (plásticos, textiles, papel, energía, productos químicos, entre otros).

Pasado, presente y futuro de los cultivos transgénicos

Cada una de las especies que aportan el alimento y la energía que se consume en el mundo, han sido seleccionadas y modificadas a través de sucesivas generaciones de agricultores y fitomejoradores mediante técnicas tradicionales de selección, cruzamiento e inducción de mutaciones. En los últimos años, la ingeniería genética se ha sumado como una herramienta complementaria a las prácticas tradicionales de mejoramiento vegetal y ha hecho posible la obtención de los cultivos transgénicos, con beneficios para el productor, la sociedad y el medioambiente. A estos beneficios se agrega que los productos derivados de los OGM's son evaluados rigurosamente desde la inocuidad alimentaria y su seguridad para la salud y el ambiente antes de la introducción en el mercado.

La primera generación de cultivos transgénicos surgió como una herramienta tecnológica para otorgar ventajas a los productores. En general, estos cultivos fueron modificados para mejorar la expresión de caracteres de productividad, tales como la resistencia a insectos, virus, o tolerancia a herbicidas, o caracteres como maduración retardada. Algunos de estos cultivos fueron aprobados para su

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



comercialización, cultivo y consumo en la década de los 90´ y son los que se están comercializando actualmente. Numerosos

proyectos en desarrollo involucran cultivos transgénicos resistentes a hongos y bacterias.

Los cultivos de la segunda generación ofrecen beneficios directos para la industria y los

consumidores, y responden más bien a la necesidad de mejorar caracteres cualitativos. Dentro de estos cultivos se incluyen aquellos con resistencia a estrés abiótico (sequía, salinidad, frío, etc.), los que brindan alimentos más sanos y nutritivos que los convencionales (maní hipoalergénico, arroz con betacarotenos, etc), los que producen mayor cantidad o mejor calidad de metabolitos de interés industrial (hidratos de carbono, ácidos grasos, aminoácidos), o los diseñados para ser usados como biorreactores de moléculas de interés farmacéutico (especialmente no producidas por las plantas como vacunas, anticuerpos), y/o de enzimas de interés industrial, (biopolímeros, etc). Estos cultivos están hoy en ensayos de campo y su comercialización ocurrirá posiblemente en los próximos años.

Aunque las distinciones suelen ser confusas al respecto, se menciona en algunos casos una tercera generación de cultivos transgénicos. En este caso las modificaciones genéticas involucran cambios en la arquitectura de las plantas o en sus tiempos de desarrollo. Este tipo de cultivos se encuentran todavía en etapa de investigación básica, aunque la introducción futura de tales modificaciones parece totalmente previsible.

Los cultivos transgénicos en 2007

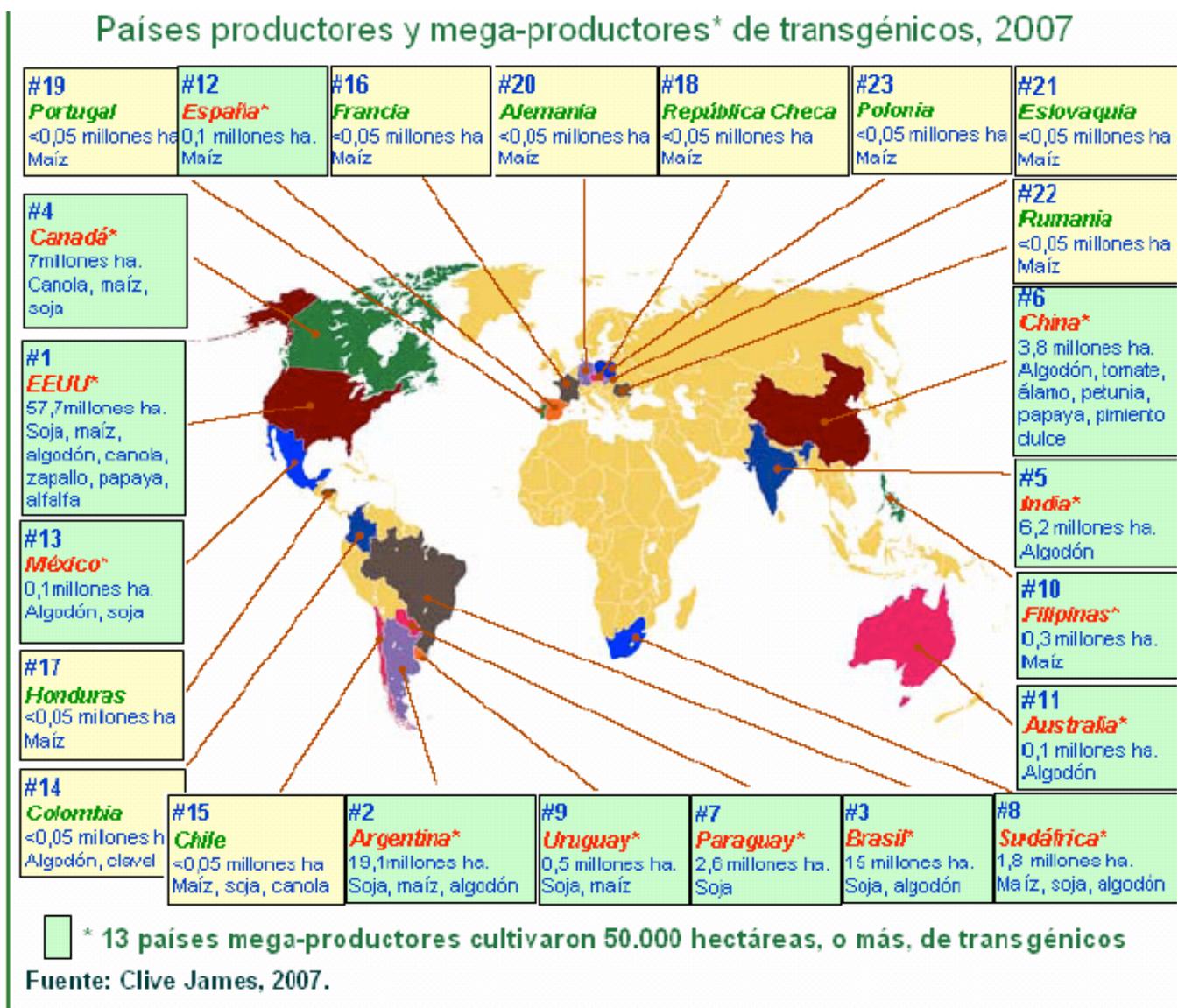
El 2005 marcó el décimo aniversario de la comercialización de los cultivos genéticamente modificados (GM). Según el informe del Servicio para la Adquisición de Aplicaciones Agrobiotecnológicas (ISAAA), en el 2005, 21 países sembraron cultivos transgénicos en una superficie global estimada en 90 millones de hectáreas. Se agregaron durante 2005 cuatro nuevos países, como parte del aumento del 11% en el área global cultivada: Irán, República Checa, Francia y Portugal.

Durante el 2006, según el nuevo informe de ISAAA, 22 países sembraron cultivos transgénicos (el nuevo país que se sumó es Eslovaquia) en una superficie global estimada en 102 millones de hectáreas.

En 2007, 23 países sembraron cultivos transgénicos (los nuevos países que se sumaron son Chile y Polonia) en una superficie global estimada en 114,3 millones de hectáreas.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.

El gráfico muestra los países que sembraron cultivos transgénicos en el 2007 con sus respectivas superficies y cultivos:



"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



En 2007, de los 114,3 millones de hectáreas sembradas con cultivos transgénicos:

- ü el 57% correspondieron a soja,
- ü el 25% a maíz,
- ü el 13 % a algodón
- ü el 5% a canola.
- ü el 0,1% a alfalfa

De los 114,3 millones de hectáreas de transgénicos:

- ü 63 % se sembraron con cultivos tolerantes a herbicidas (soja, maíz, canola, algodón y alfalfa transgénicos),
- ü 18% se sembraron con cultivos Bt (algodón, maíz y soja)
- ü 19% corresponden a cultivos de *genes "apilados"* (se incorpora más de un rasgo en la misma planta por ingeniería genética, maíz y algodón TH y Bt, en Estados Unidos, Argentina, Canadá, Colombia, Filipinas, Australia, Méjico, Sudáfrica, Honduras y Chile) .

También se sembraron superficies pequeñas de zapallo y papaya resistentes a virus, álamos Bt y clavel azul.

Los cultivos predominantes en la siembra de 2007 continuaron siendo la soja, que sigue siendo el cultivo transgénico más importante en 2007, ocupando 58,6 millones de hectáreas (57% de la superficie de cultivos biotecnológicos mundial), seguida por el maíz (35,2 millones de hectáreas y el 25%), el algodón (15 millones de hectáreas y el 13% de la superficie global de cultivos transgénicos).

Para destacar:

- ü En 2006 la alfalfa con tolerancia a herbicida, fue comercializado por la primera vez en los Estados Unidos. La alfalfa tolerante a herbicida tiene la distinción de ser el primer cultivo transgénico perenne comercializado, y fue sembrado en 80.000 hectáreas, el equivalente del 5% de los 1,3 millones de hectáreas de alfalfa que se estima fueron sembrados en los Estados Unidos en 2006. El algodón con tolerancia a herbicida, fue lanzado en 2006, y ocupó una superficie substancial de más de 800.000 hectáreas en su primer año,

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



plantado como característica única y como producto apilado con Bt, con el último ocupando a la mayoría de la superficie total sembrada. Las plantaciones se situaron principalmente en los Estados Unidos, con una superficie más modesta en Australia.

- ü Notablemente en China, una papaya con resistencia a virus desarrollada en el país, un cultivo alimenticio/de fruta, fue recomendada para su comercialización a finales del 2006.
- ü En 2007, fue aprobado en Argentina el primer evento apilado o “stack” (también llamado acumulado). que combina las características de resistencia a insectos (Bt) y la tolerancia al herbicida glifosato en la misma planta. La posibilidad de tener en una misma planta más de un rasgo ventajoso es un objetivo siempre buscado por los mejoradores, en este caso, se trata de la combinación de dos rasgos transgénicos -de resistencia a insectos y de tolerancia a herbicidas – en híbridos de maíz, lo que genéricamente se denomina “stack” o evento acumulado. El término “[evento](#) acumulado” (también llamado apilado, combinado, o stack) hace referencia a la combinación de características en un mismo híbrido por cruzamiento entre líneas parentales GM que contienen los eventos correspondientes.
- ü En 2007, se sembraron por primera vez clavel azul en Colombia y álamos Bt en China. Además, se incorporó Polonia a la lista de países europeos que cultivan transgénicos, donde se sembró maíz Bt, y también se incorporó Chile, que cultivó más de 25.000 ha de transgénicos para la exportación de semillas.

En 2007, los Estados Unidos, seguidos de Argentina, Brasil, Canadá e India China, continuaron siendo los principales productores de transgénicos en el mundo, con:

- ü 50,6 millones de hectáreas sembradas en los Estados Unidos
- ü 16,8 millones de hectáreas sembradas en Argentina
- ü 13,1 millones de hectáreas sembradas en Brasil
- ü 6,1 millones de hectáreas sembradas en Canadá
- ü 5,4 millones de hectáreas sembradas en India
- ü 3,3 millones de hectáreas sembradas en China

Beneficios derivados de los cultivos transgénicos de primera generación

La experiencia de los primeros 10 años, entre 1996 y 2005, durante los cuales se sembró un total acumulado de más de 475 millones de hectáreas de cultivos transgénicos en 21 países, cumplió las expectativas de pequeños y grandes productores de países

desarrollados y en desarrollo. El beneficio para los productores fue sustancial, independientemente del estrato social, económico o geográfico.

Datos relevados en distintos países demuestran que los cultivos transgénicos de primera generación cultivados hasta el momento, han otorgado ventajas respecto a sus contrapartes convencionales, que se ven traducidas en menor uso de

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



agroquímicos, menores costos de producción, menor contaminación ambiental, simplificación de labores y mayor rendimiento, pero sin generar modificación de las características finales del producto que llega a los consumidores o a la industria. La siguiente tabla resume las conclusiones y evaluaciones realizadas hasta el momento acerca de estos cultivos:

CULTIVO	CARACTERÍSTICA	ADOPCIÓN (ÁREA SEMBRADA)	BENEFICIOS
RESISTENTES A INSECTOS-BT Algodón Bt Maíz Bt Arroz Bt Alamos Bt Manzana, brócoli, repollo, tabaco, papa, tomate, soja y arroz que han sido mejorados por ingeniería genética para que expresen genes Bt aún no han llegado al mercado.	Basados en la expresión de genes derivados de la bacteria <i>Bacillus thuringiensis</i> que codifican formas de toxinas específicas para ciertos insectos (lepidópteros o coleópteros). La planta expresa la proteína insecticida en sus propios tejidos de los cuales se alimentan los insectos.	En 2007, 15,7 millones de hectáreas (18%) se sembraron con cultivos Bt. Se estima que en el 2020 la demanda alcanzará los 850 millones de toneladas. Se estima que el área cultivada con maíz Bt tendrá la más alta tasa de crecimiento en los próximos años. Irán y China son los países más avanzados en la comercialización de arroz Bt. En 2006 se mantuvo el aumento récord de la adopción de algodón Bt en India al casi triplicarse la superficie de este cultivo, de 1.3 millones de hectáreas a 3.8 millones de hectáreas. En 2006 éste aumento en área representó el crecimiento más alto entre dos años en cualquier país en el mundo.	Protección por largo tiempo, independencia de las condiciones ambientales y factores climáticos, protección de tejidos difíciles de tratar con insecticidas, especificidad, ahorro en insecticidas, el menor uso de pesticidas y la reducción en los labores se traducen en ganancias extras y beneficios para el ambiente y para la salud de productores y consumidores.
TOLERANTES A HERBICIDAS soja, canola, algodón, maíz, alfalfa, tolerantes a glifosato y glufosinato de amonio.	La tolerancia a un herbicida se obtiene al insertar en la planta un gen, extraído de una bacteria, que codifica para la síntesis de una enzima que no es afectada por el herbicida. Al expresar este gen bacteriano, la planta sobrevive a la aplicación del herbicida mientras que las malezas que no tienen ese gen mueren.	En 2007, la tolerancia a herbicidas, introducida en el maíz, la canola, el algodón, la soja y la alfalfa ocupó 63% de las 114,3 millones de hectáreas de transgénicos a nivel mundial. (55,1 millones de hectáreas)	Ambos herbicidas son de amplio espectro y de menor efecto residual que los tradicionales, por lo que ofrecen mejor alternativa para el control de malezas y mayor protección al ambiente y consumidores. En ocasiones, una aplicación de este herbicida a un cultivo tolerante reemplaza numerosas aplicaciones de otros herbicidas. El mejor control de malezas a menores costos de insumos permite una rentabilidad neta mayor que la obtenida con cultivos convencionales.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



GENES ACUMULADOS Maíz y algodón resistentes a insectos y tolerantes a herbicidas.		En 2007, 16,6 millones de hectáreas (19%) se sembraron con cultivos de genes acumulados. Estos cultivos representaron el grupo de características con mayor tasa de crecimiento entre 2005 y 2007..	
---	--	---	--

Situación actual de los cultivos transgénicos en Argentina

La superficie total de transgénicos en Argentina ascendió a 19,8 millones de hectáreas en 2007, (con respecto a 18,4 millones de hectáreas en 2006. Con el 16,8% de la superficie global de organismos genéticamente modificados (OGM), Argentina continúa siendo el segundo país productor de transgénicos, después de Estados Unidos (ver Cuadernos N° 43 y 44). En Argentina, los cultivos aprobados para su siembra, consumo y comercialización entre 1996 y 2008 son:

cultivo	característica introducida	Evento*	año
soja	tolerancia al herbicida glifosato	40-3-2	1996
maíz	resistencia a insectos lepidópteros	176	1998
maíz	tolerancia al herbicida glufosinato de amonio	T25	1998
algodón	resistencia a lepidópteros	MON531	1998
maíz	resistencia a insectos lepidópteros	MON810	1998
algodón	tolerancia al herbicida glifosato	MON 1445	2001
maíz	resistencia a lepidópteros	Bt11	2001
maíz	tolerancia a glifosato	NK603	2004
maíz	resistencia a insectos lepidópteros y tolerancia al herbicida glufosinato de amonio	TC1507	2005
maíz	tolerancia a glifosato	GA21	2005
maíz	tolerancia a glifosato y resistencia a lepidópteros, acumulados por cruzamiento	NK603 x MON810	2007
maíz	tolerancia a los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio, y resistencia a insectos lepidópteros	1507 X NK603	2008

Fuente: [CONABIA \(SAGPyA\)](#)

***Evento.** Según la CONABIA, el término “evento” se refiere a la construcción de ADN insertada (incluye a los genes de interés, los elementos que controlan su expresión, los genes marcadores de selección y otras secuencias de ADN) o el vector (por ej. plásmido) que la contiene.

En la campaña 2007/2008, prácticamente el 100% de la superficie de soja fue sembrada con soja tolerante al herbicida glifosato, mientras que el maíz y el algodón

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



transgénicos ocuparon el 74% y el 90% del área destinada a esos cultivos, respectivamente. De este algodón, el 43% (124.000 ha) correspondió a algodón tolerante a glifosato, y el 57% restante (162.000 ha) a algodón Bt. Con respecto al maíz, el maíz tolerante a glifosato se sembró en unas 369.000 ha mientras que el resto del maíz transgénico correspondió a maíz Bt (2,5 millones de ha y 82.000 ha del evento apilado (maíz BtxTH)

La tasa de adopción de cultivares modificados genéticamente es una de las más altas en cuanto a adopción de tecnologías en el sector agropecuario argentino, mayor inclusive a la observada años atrás con la incorporación de los híbridos. Los niveles de adopción indican un alto grado de satisfacción por parte del agricultor con respecto a los productos de esta nueva tecnología, que ofrece además de la disminución de los costos, otras ventajas como mayor flexibilidad en el manejo de los cultivos, disminución en la utilización de insecticidas, mayor rendimiento y mejor calidad. Existen numerosos proyectos de investigación y desarrollo, tanto públicos como privados, que involucran la obtención de cultivos transgénicos de alfalfa, girasol, trigo, caña de azúcar, ajo, cebolla, girasol, frutilla, cítricos, forestales, etc con diferentes características.

Algodón Bt en Argentina

El cultivo del algodón en Argentina es un cultivo regional que se centraliza en las provincias del Chaco y Santiago del Estero. La superficie sembrada fluctúa en función del precio internacional y ha disminuido en forma marcada en los últimos años. Sin embargo la participación del algodón transgénico Bt en la superficie total del cultivo ha crecido año tras año.

Las variedades tradicionales están adaptadas a las condiciones locales aunque, como todos los cultivares de algodón convencional, son susceptibles al ataque de insectos lepidópteros. Esto ocasiona grandes pérdidas y obliga a realizar en promedio 4.8 aplicaciones de insecticidas por campaña, con la consecuencia negativa para la seguridad de los trabajadores y el medioambiente. El algodón Bt (comercializado desde 1998) es un algodón transgénico que resiste a la oruga del capullo, oruga de la hoja del algodnero y a la lagarta rosada, y permite disminuir las aplicaciones promedio de insecticidas a la mitad. Los mayores beneficios económicos del uso de algodón Bt, son el aumento en los rendimientos debido al control de insectos y la disminución en el costo de insecticidas. Si bien el impacto de la siembra de algodón Bt en el país no es tan alto como el de la soja tolerante a glifosato, su impacto en la economía regional es muy importante.

Maíz Bt en Argentina

El Barrenador del Tallo (*Diatraea*) es la plaga más importante del cultivo de maíz en la Argentina, tanto por los daños que causa como por la dificultad de su control. En ensayos a campo, con infestaciones naturales y artificiales, se determinaron pérdidas de entre el 25% y el 40%. El maíz Bt fue comercializado por primera vez en

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



Argentina en la campaña 1998-1999 abarcando un 6% de la siembra total de maíz. En el 2004 los maíces resistentes a insectos ocuparon casi el 60% del área cultivada con maíz en el país. Si bien el área de cultivo de maíz disminuyó en Argentina en 2005, la adopción del maíz transgénico aumentó un 10%, alcanzando el 65% de la superficie de ese cultivo. En 2006, se observó un crecimiento con respecto a 2005 de la superficie cultivada con maíz Bt llegando a 2.05 millones de hectáreas. En 2007, la superficie cultivada con maíz Bt fue de 2.5 millones de hectáreas.

La soja tolerante a glifosato en Argentina

El cultivo de soja con variedades convencionales (no transgénicas) fue introducido en la Argentina en la década del '70 y se ha caracterizado por una alta tasa de adopción. Sin embargo, la introducción en 1996 de la soja transgénica tolerante al herbicida glifosato, fue el progreso más importante en la agricultura argentina de los últimos años y se lo atribuye principalmente a la mayor rentabilidad y menor riesgo asociado. Actualmente se encuentran disponibles en el mercado más de 70 variedades de soja tolerantes a glifosato, producidas por siete empresas (nacionales y extranjeras).

Si bien los rendimientos de la soja tolerante a glifosato no son significativamente diferentes a los de las variedades tradicionales, la rentabilidad se ve mejorada por la eliminación de labores asociadas con el desmalezado mecánico, y por el uso de un herbicida de bajo precio. Por otra parte, la utilización de este tipo de variedades de soja transgénica facilita la siembra directa y el doble cultivo trigo-soja en el mismo año sin correr el riesgo de dañar el suelo. Este tipo de prácticas más conservacionistas, basadas en minimizar la remoción del suelo, permiten controlar la erosión debido a la mayor cobertura, mejoramiento del contenido de materia orgánica, reducción del escurrimiento de agua y disminución de la compactación. Por otro lado, el doble cultivo (trigo-soja) permite a los pequeños productores, que por el tamaño de sus establecimientos no podrían realizar la tradicional rotación agricultura/ganadería, obtener rendimientos por hectárea rentables sin poner en riesgo la futura producción de sus tierras.

El desarrollo de la soja tolerante al glifosato, un herbicida de amplio espectro y bajo precio, simplificó y abarató notablemente el gasto en herbicidas. Por otro lado, y a pesar de que se emplea en grandes cantidades por hectárea, el glifosato es un herbicida sin acción residual y se descompone rápidamente en el suelo, lo que representa una ventaja.

Biotecnología 2007 / 2008: Reflexiones y conclusiones

La adopción rápida y continua de los cultivos transgénicos refleja las mejoras sustanciales y constantes en la productividad, el medio ambiente, la economía, la salud y

los beneficios sociales que concretaron agricultores grandes y pequeños por igual, consumidores, y la sociedad en países tanto en desarrollo como industrializados.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



Para 2015, se pronostica que más de 20 millones de agricultores sembrarán 200 millones de hectáreas de cultivos transgénicos en unos 40 países. En 2007 el 90% u 11 millones de agricultores que cultivaron transgénicos eran agricultores pequeños y de bajos recursos, lo que permitió que la biotecnología hiciera una modesta contribución para aliviar su pobreza. De estos 11 millones de agricultores pequeños, la mayoría fueron productores de algodón Bt en China e India principalmente y también en Filipinas y Sudáfrica. Esta modesta contribución inicial de los cultivos transgénicos de aumentar los ingresos de pequeños productores es particularmente importante en el contexto de los Objetivos de Desarrollo del Milenio de reducir la pobreza en un 50% para 2015.

La expectativa a futuro con respecto a los próximos eventos que se espera más cercanos a ser desarrollados y aprobados son:

- § Arroz GM (Ej.: Bt)
- § Árboles GM (Ej.: álamos Bt)
- § Cultivos resistentes a sequía (Ej.: maíz, soja, trigo, etc.)
- § Cultivos con mejoras nutricionales (arroz dorado, aceites, proteína)
- § Cultivos con mejoras para biocombustibles y bioplásticos
- § Eventos acumulados (stacks)

La biotecnología no solo incursionó en la agricultura, sino también en sectores tan diversos como la industria farmacéutica, los plásticos, productos químicos, textiles, minería, papel y energía, que afectan a la sociedad, el ambiente y su economía.

Los fármacos provenientes de organismos transgénicos se producen hoy en día en bacterias (fundamentalmente E. Coli), en levaduras, y en células de mamífero (en laboratorio). En la Argentina ya se obtuvieron terneros transgénicos y clonados que producen la hormona de crecimiento humano en su leche. Próximamente se supone que estarán en el mercado las proteínas farmacológicas provenientes de plantas transgénicas y de animales transgénicos.

Además, la biología y la biotecnología están buscando alternativas a los productos sintéticos creados por la industria basada en el petróleo, proveyendo nuevos materiales y fuentes de energía renovables, amigables con el medio ambiente. Por ejemplo, algunos productos que se emplean en la fabricación de ropas, envases y aparatos electrónicos se

producen a partir de *biopolímeros*. Los biopolímeros utilizan recursos renovables como azúcares o maíz como materia prima. Se ha incrementado el uso de los biocombustibles y

solventes a partir de maíz, las tintas a partir de la soja, etc. Esto ha llevado a la aparición de las biorrefinerías, que pueden ser la base de nuevas bioindustrias, basadas en convertir la biomasa en calor, combustibles, sustancias químicas y nuevos materiales.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



Según la Organización para Cooperación Económica y el Desarrollo (OCED), *“desarrollar una bio-economía sustentable que utiliza bioprocesos ecoeficientes y fuentes bio-renovables es uno de los desafíos estratégicos del siglo XXI”*. La biotecnología está contribuyendo a que esto sea posible.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



ACTIVIDADES

Objetivos:

1. Repasar conceptos trabajados en este Cuaderno.
2. Integrar conceptos trabajados a lo largo del año.
3. Analizar datos actuales acerca de la adopción de cultivos transgénicos en el mundo.
4. Examinar los beneficios de diferentes tipos de OGM's o productos derivados de ellos.
5. Diseñar y analizar diferentes tipos de representaciones gráficas.

Destinatarios y conceptos relacionados: Este Cuaderno está destinado a alumnos de EGB y de Polimodal, ya que la adopción y beneficios que ofrecen los cultivos transgénicos puede trabajarse con diferentes niveles de complejidad y con ejemplos variados en todos los niveles de la educación, a partir de los conceptos ya trabajados a lo largo del año.

Consideraciones metodológicas:

Este Cuaderno, así como las actividades que se sugieren, no pretenden introducir conceptos nuevos sino emplear términos, ideas y metodologías ya implementadas a lo largo del año, con el fin de integrar los conceptos aprendidos acerca de la biotecnología, y analizar datos recientes acerca de su adopción y beneficios. De esta forma, se propone una instancia de debate con los alumnos que les permita reflexionar y sacar conclusiones acerca de lo aprendido a lo largo del año. La Actividad 1 propone el diseño de una red conceptual a partir de conceptos dados. En esta instancia de repaso y conclusiones, el diseño de una red conceptual resulta una buena forma de evaluar los conocimientos adquiridos por los alumnos.

Las otras actividades se pueden resolver a partir de los datos brindados en este Cuaderno o a partir de la lectura del Informe publicado recientemente por el Servicio Internacional para la Adquisición de las Aplicaciones Agrobiotecnológicas (ISAIA). En caso de requerirlo, se sugiere retomar conceptos trabajados en ediciones anteriores del Cuaderno, reelaborar actividades ya realizadas o trabajar en conjunto con docentes de matemática cuando se requieren cálculos, representaciones gráficas y la interpretación de los datos allí representados.

También se sugiere trabajar con las láminas disponibles en el sitio Por qué biotecnología en

<http://www.porquebiotecnologia.com.ar/educacion/docs/laminas/laminas.asp>.

Estas láminas ofrecen de manera gráfica, simple y accesible los conceptos básicos de biotecnología, sus productos, aplicaciones y perspectivas.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



En las actividades se emplean representaciones gráficas que permiten visualizar de manera clara y concisa los datos, así como cálculos matemáticos simples. Es importante que los alumnos puedan diseñar, analizar e interpretar las representaciones gráficas y comprender el significado de los cálculos matemáticos aplicados a casos concretos y reales. Se sugiere trabajar en conjunto con docentes del área de matemáticas.

ACTIVIDAD 1. Repaso de conceptos: Diseño de una red conceptual

Esta actividad consiste en diseñar una red conceptual a partir de una lista de conceptos principales dados, respetando las siguientes reglas:

1. Se debe unir de a dos conceptos por vez. Es decir que al terminar la red se pueden aislar dos conceptos y deben formar una frase coherente, que se inicia en uno de los conceptos y termina en el otro, siguiendo la dirección que indica la flecha.
2. Todos los conceptos deben formar parte de la red (no pueden quedar conceptos sueltos), y de cada concepto pueden salir o entrar más de una flecha.
3. En las frases empleadas para unir conceptos no se pueden repetir los conceptos principales dados. Tampoco usar expresiones como “el mismo” ya que es una forma de reiterar un concepto.
4. No se puede usar la negación (“no”) en las frases que unen conceptos ya que la idea es demostrar conocimientos mediante la afirmación.
5. Evitar en las frases que unen conceptos el empleo reiterado de términos tales como “es”, “tiene”, “está”. Aunque su uso puede ser correcto, se pretende que los alumnos puedan redactar una frase breve pero que manifieste ideas más exactas y demuestre sus conocimientos. **Nota:** ver también Actividad 3 del Cuaderno N° 3.

Se sugiere armar una red conceptual con los alumnos o dar la lista de conceptos y dejar que lo hagan de forma autónoma. Luego hacer una puesta en común para analizar las diferentes redes que surgieron en la clase, y que los mismos alumnos puedan evaluar las redes diseñadas por sus compañeros. A continuación se presenta una lista de conceptos y se muestra un modelo de red conceptual que se podría diseñar a partir de ellos:

BIOTECNOLOGÍA – INGENIERÍA GENÉTICA – TRANSGÉNICO – BACTERIAS – RECOMBINANTE – SOJA – ARGENTINA – ADN – INSULINA - MUTAGÉNESIS - ALGODÓN

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



ACTIVIDAD 2. Transgénicos en el tiempo

Desde 1996 a la fecha el área global de cultivos genéticamente modificados (o transgénicos) ha crecido a una tasa sostenida. A continuación se presenta una tabla con las superficie (en millones de hectáreas) cultivada con transgénicos en el mundo desde 1996 a 2006.

- Calcular el porcentaje de crecimiento del área con transgénicos de año a año. **Rta.** (ver tabla de respuestas)
- Indicar en qué momento se registró un mayor crecimiento. **Rta.** (ver tabla de respuestas)
- Considerando que la superficie total cultivable del mundo es de 1501,4 millones de hectáreas (datos de 2004), ¿qué porcentaje representa el área cultivada con transgénicos respecto del total cultivable?
- Representar la variación en la superficie cultivada con transgénicos mediante un gráfico. **Nota:** Analizar con los alumnos qué tipo de gráfico sería el más apropiado para esta representación (curva, histograma o torta), y justificar la elección.

Año	Superficie (millones de hectáreas)	Año	Superficie (millones de hectáreas)
1996	1.7	2002	58.7
1997	11.0	2003	67.7
1998	27.8	2004	81
1999	39.9	2005	90
2000	44.2	2006	102
2001	52.6	2007	114,3

Respuestas

Año	Superficie (millones de hectáreas)	Porcentaje de crecimiento	Año	Superficie (millones de hectáreas)	Porcentaje de crecimiento
1996	1.7		2002	58.7	11,59
1997	11.0	547 * (mayor crecimiento)	2003	67.7	15,33
1998	27.8	152,7	2004	81	19,82
1999	39.9	43,52	2005	90	11,1
2000	44.2	10,78	2006	102	13,33
2001	52.6	19	2007	114,3	12

ACTIVIDAD 3. Transgénicos en el mundo

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



Los países que cultivan 50.000 hectáreas o más de transgénicos se clasifican como países mega-productores (Clive James, ISAAA, 2005). En orden descendiente de superficie cultivada con transgénicos en 2007 los mega-productores fueron:

Orden	País	Superficie (Millones de Hectáreas)	Respuesta pregunta b)
1*	Estados Unidos	57,7	50%
2*	Argentina	19,1	16,7%
3*	Brasil	15	13 %
4*	Canadá	7	6%
5*	India	6,2	5%
6*	China	3,8	3%
7*	Paraguay	2.6	2%
8*	Sudáfrica	1.8	1%
9*	Uruguay	0.5	<1%
10*	Filipinas	0.3	<1%
11*	Australia	0.1	<1%
12*	España	0,1	<1%
13*	México	0.1	<1%

- Calcular la superficie total global con cultivos transgénicos. **Rta. Superficie global total = 114,3 millones de hectáreas.**
- Calcular los porcentajes representados por los países mega-productores en el área total de cultivos transgénicos. **Rta. (en la tabla).**
- Representar los resultados en un gráfico. **Nota:** Analizar con los alumnos qué tipo de gráfico sería el más apropiado para esta representación (curva, histograma o torta), y justificar la elección.

Indicar entre los países que cultivan transgénicos cuáles son desarrollados y cuáles en vías de desarrollo. ¿qué porcentaje de área cultivada con transgénicos corresponden a países desarrollados y cuál a países en desarrollo? **RTA: En 2007, el número de países que sembraron cultivos transgénicos aumentó a 23, e incluyó a 12 países en desarrollo y 11 industrializados. Ellos fueron, en orden decreciente según el área, Estados Unidos, Argentina, Brasil, Canadá, India, China, Paraguay, Sudáfrica, Uruguay, Filipinas, Australia, España, México, Colombia, Chile, Francia, Honduras, República Checa, Portugal, Alemania, Eslovaquia, Rumania y Polonia. Cabe destacar que los primeros ocho cultivaron más de un millón de hectáreas cada uno – el fuerte incremento en todos los continentes en 2007 proporciona cimientos sólidos para el crecimiento global en el futuro. En 2007, el 43% del área global de cultivos GM (más que el 40% de 2006), equivalente a 49,4 millones de hectáreas, fue sembrado en**

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



los países desarrollados. El porcentaje restante corresponde a los países en vías de desarrollo.

ACTIVIDAD 4. Cultivos mejorados genéticamente

Más del 99% de los cultivos transgénicos comercializados en el mundo corresponden a cultivos a los que se les ha introducido la característica de tolerancia a herbicida (soja, maíz, algodón, canola y alfalfa) o resistencia a insectos-Bt (maíz y algodón), o ambas, tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos (maíz y algodón).

a) ¿Cuáles fueron los cultivos transgénicos predominantes en el año 2006? **RTA:** La soja continuó siendo el cultivo biotecnológico más importante en 2006, ocupando 58,6 millones de hectáreas (57% de la superficie de cultivos biotecnológicos mundial), seguida por el maíz (25,2 millones de hectáreas y el 13%), el algodón (13,4 millones de hectáreas y el 5% de la superficie global de cultivos transgénicos).

b) ¿Qué característica agronómica tiene el 68% de los transgénicos cultivados en el mundo en el 2006? **RTA:** la tolerancia a herbicidas, introducida en el maíz, la canola, la soja, el algodón y la alfalfa transgénicos ocupó el 68% de las 102 millones de hectáreas de transgénicos a nivel mundial.

c) ¿Qué es un herbicida? **Rta.** El término plaguicida o pesticida se aplica a aquellas sustancias u organismos capaces de exterminar toda vida animal o vegetal que pueda afectar a la salud, la alimentación o a la economía del hombre. Entre los plaguicidas se encuentran los insecticidas, acaricidas, herbicidas y fungicidas. Los herbicidas son compuestos orgánicos, generalmente sintéticos, utilizados a partir de 1945 y considerados como herramienta clave en la agricultura moderna. Tienen actividad fitotóxica y se usan para combatir las malezas que afectan a los cultivos agronómicos. Interfieren con procesos vitales de las plantas, y a veces las bacterias, tales como por ejemplo la fotosíntesis, la síntesis de aminoácidos o la síntesis de ácidos grasos.

d) ¿Qué es un insecticida? ¿qué tipos de insecticidas se usan en el mundo? **Rta.** Los insecticidas son sustancias químicas que ejercen una acción letal sobre los insectos. Se utilizan en el control de especies plaga para las plantas cultivadas y, directa o indirectamente, para el ser humano y los animales. Los insecticidas pueden ser clasificados de diversas maneras; por ejemplo, por su base química, por su acción toxicológica o por su modo de penetración en el insecto. Existen insecticidas sintéticos y biológicos. Los bioinsecticidas se construyen a base de proteínas de microorganismos que tienen actividad insecticida. Las entomotoxinas de *Bacillus thuringiensis* por ejemplo vienen siendo utilizadas desde 1961 en la formulación de bioinsecticidas.

e) ¿En que consiste la incorporación de tolerancia a herbicidas y de resistencia a insectos por ingeniería genética? **Rta.** Mediante ingeniería genética es posible transferir a las plantas genes cuyo producto les permite tolerar la aplicación de herbicidas como en

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



el caso de la soja RR tolerante a glifosato, o para que expresen sustancias insecticidas como es el caso del maíz BT, y así resistan al ataque de insectos (ver cuaderno N°43).

f) ¿A qué herbicida es tolerante la primera soja transgénica comercializada en el mundo? ¿qué ventajas ambientales tiene el uso de ese herbicida? **Rta.** La primera soja transgénica comercializada en el mundo es tolerante al herbicida glifosato. El glifosato es un herbicida de amplio espectro sin acción residual y se descompone rápidamente en el suelo.

ACTIVIDAD 5. Adopción de los cultivos transgénicos en Argentina

1- ¿A qué factores se debe el mayor impacto económico de la soja en Argentina?

Rta. Si bien los rendimientos de la soja tolerante a glifosato no son significativamente diferentes a los de las variedades tradicionales, la rentabilidad se ve mejorada por la eliminación de labores asociadas con el desmalezado mecánico, y por el uso de un herbicida de bajo precio. Por otra parte, la utilización de este tipo de variedades de soja transgénica facilita la siembra directa y el doble cultivo trigo-soja en el mismo año sin correr el riesgo de dañar el suelo. Por otro lado, el doble cultivo (trigo-soja) permite a los pequeños productores, que por el tamaño de sus establecimientos no podrían realizar la tradicional rotación agricultura/ganadería, obtener rendimientos por hectárea rentables sin poner en riesgo la futura producción de sus tierras.

Según datos estimados, los beneficios de la adopción de la soja transgénica tolerante a glifosato en el período 1996 – 2001 se distribuyeron entre los productores y los proveedores de insumos (herbicidas, semillas) de la siguiente forma:

Año	Ganancias a los productores (en millones de dólares)			Ganancias a los proveedores (en millones de dólares)			Total de beneficio
	Costos	Producción	Total	Glifosato	Semillas	Total	
1996	50.22	91.43	141.65	28.89	8.01	36.9	178.54
1997	95.91	214.86	310.76	47.76	16.71	64.46	375.23
1998	145.99	306.29	452.27	56.17	24.71	80.89	533.17
1999	186.06	594.57	780.63	74.62	37.62	112.24	892.87
2000	214.25	875.18	1,089.43	93.37	49.54	142.92	1,232.35
2001	234.79	1,469.76	1,704.55	164.27	87.16	251.44	1,955.99
Total	927.22	3,552.08	4,479.30	465.09	223.75	688.85	5,168.15

Datos de [Trigo et al., 2002](#).

A partir de la tabla presentada determinar:

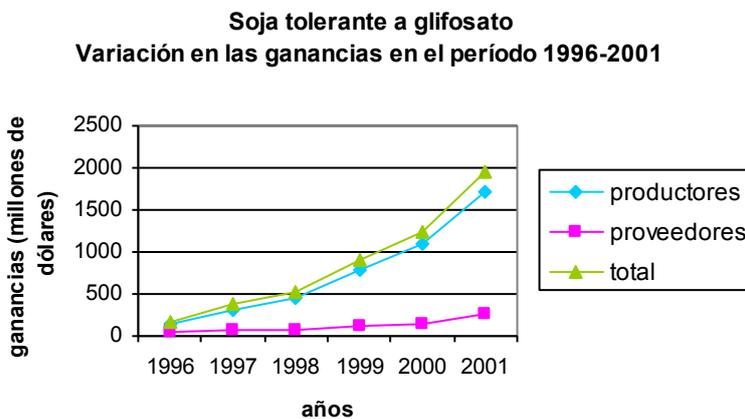
- a) ¿Quiénes obtuvieron los mayores beneficios económicos? **Rta.** Los productores
- b) Si el total de ganancias estimado fue de 5,168.15 millones de dólares: ¿qué porcentaje representa la ganancia de los productores y qué porcentaje la ganancia de los proveedores de insumos? **Rta.** 86,6% y 13,3%, respectivamente

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.

c) Representar en un gráfico de curva cómo fueron variando las ganancias de cada sector y el total a través de este período. Analizar:

- qué representan las curvas. **Rta.** La **variación** en las ganancias de los diferentes sectores y el total en el período 1996-2001.
- cómo se construye la curva del total. **Rta.** Es la suma de los valores de ambas curvas para cada año.
- qué sector hizo el mayor aporte a las ganancias totales y cómo se manifiesta esto en el gráfico **Rta.** el mayor aporte fue de productores; la curva de productores es la más cercana a la del total, y crece paralelamente a ella.
- evaluar por qué este tipo de gráfico es adecuado para representar estos datos. **Rta.** Permite la alineación de valores continuos que muestran la variación en el parámetro que se mide.

Respuesta: Gráfico



ACTIVIDAD 6. La siembra directa

1. ¿Por qué se considera que la siembra directa contribuye a una agricultura más sustentable? **Rta** la Siembra Directa se basa en prácticas que minimizan la remoción del suelo, permiten controlar la erosión debido a la mayor cobertura, mejoran el contenido de materia orgánica, reducen el escurrimiento de agua y disminuyen la compactación del suelo. Por lo tanto, permite producir sin degradar el suelo, mejorando en muchos casos sus condiciones físicas, químicas y biológicas, con un uso más eficiente del agua. Así, el sistema logra niveles productivos altos con estabilidad temporal y en armonía con el ambiente.

2. ¿A qué se denomina soja de segunda y como contribuye a aumentar la producción? **Rta** Con siembra directa es posible realizar más de un cultivo de soja por período anual. Un primer cultivo de soja (soja de primera) y un segundo cultivo de soja (soja de segunda; llamada así a la que se siembra en una fecha no ideal) sobre el rastrojo de un cultivo de invierno como trigo (doble cultivo trigo-soja). Esto

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



se traduce en la obtención de mayores rendimientos por hectárea sin poner en riesgo la futura producción de las tierras.

ACTIVIDAD 7. Reflexión y conclusiones

Si este Cuaderno fuera empleado a modo de cierre del año o del tema, sería interesante plantear un intercambio dentro de la clase en el cual se pueda evaluar si los alumnos pudieron cambiar o reforzar algunas de las ideas previas con las que iniciaron el tema.

Se sugieren algunas preguntas que podrían incentivar la discusión:

- ¿Qué piensan acerca de lo que ofrece la biotecnología?
- ¿Consideran que es beneficioso para la sociedad y el ambiente?
- ¿Qué desventajas encuentran en estas metodologías?
- ¿Comen o comerían alimentos transgénicos? ¿Se aplicaron o se aplicarían vacunas fabricadas a partir de OGM's? Justificar las respuestas.
- ¿Qué piensan acerca del hecho de que la Argentina se encuentre entre los primeros países del mundo en este tipo de tecnologías? ¿Consideran que se debe invertir en este tipo de desarrollos? Justificar.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



Material de consulta

1. *BIO... ¿QUÉ? Biotecnología, el futuro llegó hace rato.* Alberto Díaz. (2005). Colección "Ciencia que ladra...". Siglo XXI Editores Argentina S.A. Universidad Nacional de Quilmes Editorial.
2. Documentos de la biblioteca del Consejo Argentino para la Información y el desarrollo de la Biotecnología (ArgenBio). Adopción, beneficios e impacto.
www.argenbio.org/h/biblioteca/index.php
3. Clive James, ISAAA, 2007. Situación global de los cultivos transgénicos comercializados 2007 (resumen ejecutivo). - Idioma Español. Informe actualizado que muestra la adopción y distribución de los cultivos transgénicos en todo el mundo.
[http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/37/executivesummary/pdf/Brief%2037%20-%20Executive%20Summary%20-%20Spanish%20\(Latin%20America\).pdf](http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/37/executivesummary/pdf/Brief%2037%20-%20Executive%20Summary%20-%20Spanish%20(Latin%20America).pdf)
4. *Biotecnología y Mejoramiento Vegetal.* (2004). Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Editores: Dra. Viviana Echenique, Dra. Clara Rubinstein, Ing. Agr. Luis Mroginski. <http://www.argenbio.org/h/biblioteca/libro.php>
5. *Biotecnología: la otra guerra.* Ezequiel Tamborini. Fondo de Cultura Económica, 2003.
6. Cecilia Roca, ASA (2003). "Impacto económico de la soja". Idioma Español. Presenta datos sobre la adopción y el impacto económico de la soja y el algodón transgénicos en Argentina.
7. Lema, D.; Penna, J. A. (2001) "Adopción de las sojas resistentes a herbicidas en Argentina: un análisis económico" INTA, Instituto de Economía y Sociología).
8. Qaim, M y Cap, E. (2002) "Algodón Bt en Argentina: un análisis de su adopción y la disposición a pagar de los productores" INTA, Instituto de Economía y Sociología.
9. Carpenter, J y Gianessi, L. (1999) "Herbicide tolerant soybeans: why growers are adopting Roudup Ready varieties". AgBioForum Volume 2, number 2- Pages 65-72. Idioma Inglés. Base de datos que consta de trabajos científicos y revisiones que

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



demuestran los beneficios e implicancias de seguridad asociados con el uso de los productos de la agrobiotecnología. <http://croplife.intraspin.com/>

10. www.aapresid.org.ar

El sitio de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa, una institución que tiene como misión el desarrollo tecnológico, formación y educación en agricultura de conservación basada en siembra directa para impulsar una producción agropecuaria sustentable, productiva y rentable, promoviendo la innovación tecnológica y la incorporación de la ciencia, para el bienestar de la comunidad.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.