

## Investigaciones recientes en biotecnología vegetal: I+D en producción de semilla

*Recent research in plant biotechnology: R & D in seed production*

### Nelcar Durán

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas  
Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-2552-2806>  
nelcar86@gmail.com  
Yaracuy-Venezuela

Fecha de recepción: 15/08/2024

Fecha de aprobación: 26/08/2024

### Resumen

El presente trabajo tiene como propósito dar a conocer la situación actual de las investigaciones en biotecnología vegetal en el ámbito mundial y latinoamericano. Actualmente el desarrollo de nuevas innovaciones, ha llevado a la biotecnología aplicaciones para el desarrollo de la agricultura en el mundo y América Latina, lo que ha generado un impacto en países desarrollados con técnicas de ingeniería genética, molecular y organismos modificados. En los últimos años se ha realizado investigaciones de punta que han permitido dar un vuelco a las tradicionales técnicas utilizadas. Al respecto la biotecnología ofrece una posible solución a muchos problemas que afectan a la producción agrícola del mundo debido a las condiciones adversas bióticas y abióticas, así como el imparable cambio climático que afecta toda la población, sin embargo, existen desequilibrios públicos entorno a las decisiones gubernamentales que denotan los países desarrollados para dar un uso acertado y beneficioso para todos y no a un solo sector, tal como lo indica la FAO. Con orientación apropiada la biotecnología ofrecerá aumentar la productividad agrícola para el presente y futuro, debido a que sus aplicaciones también están asociadas con riesgos potenciales haciendo necesario desarrollar políticas responsables a fin de garantizar que la creciente población mundial sea capaz de producir y acceder a los alimentos.

### Abstract

The purpose of this paper is to present the current situation of plant biotechnology research worldwide and in Latin America. Currently, the development of new innovations has led to biotechnology applications for the development of agriculture in the world and Latin America, which has generated an impact in developed countries with genetic and molecular engineering techniques and modified organisms. In recent years, cutting-edge research has been carried out that has allowed a change in the traditional techniques used. In this regard, biotechnology offers a possible solution to many problems that affect agricultural production in the world due to adverse biotic and abiotic conditions, as well as the unstoppable climate change that affects the entire population. However, there are public imbalances surrounding government decisions that denote developed countries to give a correct and beneficial use to all and not to a single sector, as indicated by the FAO. With appropriate guidance, biotechnology will offer increased agricultural productivity for the present and future, because its applications are also associated with potential risks, making it necessary to develop responsible policies to ensure that the growing world population is able to produce and access food.

### Palabras clave:

Investigación; biotecnología vegetal; situación; producción; semilla

### Keywords:

Research; plant biotechnology; situation; production; seed



## Introducción

Durante muchos años, los seres humanos se han dedicado a mejorar la producción agraria. A lo largo de los últimos 150 años, los científicos han desarrollado técnicas de selección y mejoramiento. La moderna biotecnología tiene el potencial necesario para acelerar el desarrollo y la distribución de una mejor producción. La selección asistida por marcadores y las técnicas de cultivo de tejidos permiten la rápida multiplicación de materiales de plantación limpios de especies propagadas a nivel vegetal para su distribución entre los agricultores. La ingeniería o modificación genética (manipulación del genoma de un organismo mediante la introducción o eliminación de genes específicos) ayuda a transferir características deseadas entre plantas con mayor rapidez y precisión, de la que es posible con el fitomejoramiento convencional.

Sin duda, la biotecnología ofrece una viable solución a muchos problemas que afectan a la producción agropecuaria de los países en desarrollo. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (por sus siglas en inglés, FAO) asegura que diversos problemas disminuirían en los países en desarrollo que traten de participar más en la biotecnología y de esta manera mejorar el sector agropecuario.

Sin embargo, deben considerar los posibles peligros para el medio ambiente de los nuevos productos de la biotecnología, sobre todo en los que intervengan los organismos modificados genéticamente (OMG), han despertado preocupación, debido a que las empresas podrían utilizar los países en desarrollo como lugares de prueba de esos productos. Algunos de los posibles riesgos para el medio ambiente se refieren a las plagas de las plantas. La fuga de genes de OMG puede promover la proliferación como malas hierbas de especies silvestres compatibles sexualmente. La FAO asegura que los países en desarrollo requieren ayuda para elaborar la legislación apropiada y establecer órganos de reglamentación idóneos para todos los aspectos de la bioseguridad. La legislación nacional debe estar en consonancia con los instrumentos internacionales y reflejar las posiciones nacionales.

No obstante, la balanza se inclina más en "beneficios potenciales", donde se busca mayor productividad de la que resultarán rentas más elevadas para los productores y precios más reducidos por los consumidores; menor necesidad de insumos perjudiciales para el medio ambiente, especialmente insecticidas; mejora de la seguridad alimentaria gracias a una reducción de las fluctuaciones de los rendimientos causadas por plagas, sequías o inundaciones; mayor valor nutritivo gracias a una calidad y contenido más altos de proteínas, así como a mayores niveles de vitaminas y micronutrientes, por lo tanto, es necesario hacer mayores inversiones enfocadas a la investigación de cultivos de OMG para países en desarrollo, para así asegurar que los agricultores de estos países tengan acceso a las nuevas variedades de cultivos resultantes, debido a que el futuro la población continuará creciendo a un ritmo acelerado y aproximadamente el 70 % de la población mundial será urbana, con el nivel de ingresos varias veces superior al actual. Por lo que, para alimentar a esta población más numerosa, más urbana y más rica, la producción de alimentos (excluyendo los alimentos empleados en la producción de biocombustibles) deberá aumentar un 70 %. En tal sentido, el presente trabajo tiene como propósito dar a conocer la situación actual de las investigaciones en biotecnología vegetal en el ámbito mundial y latinoamericano.

## Antecedentes históricos

### Biotecnología vegetal

Biotecnología es un término relativamente nuevo y no muy conocido, el mismo se refiere al uso de organismos vivos para obtener un bien o servicio útil para el hombre. A diario, convivimos con ella en nuestro quehacer cotidiano, sin darnos cuenta de su existencia.

Según SACSA, (2015) la biotecnología es una ciencia que involucra varias disciplinas (biología, bioquímica, genética, virología, agronomía, ingeniería, química, medicina y veterinaria entre otras), comprendiendo que existen muchas definiciones para describir la biotecnología. En términos generales es el uso de organismos vivos o de

compuestos obtenidos de organismos vivos para obtener productos de valor para el hombre.

Sin embargo, durante miles de años, el hombre ha utilizado la crianza selectiva como una aplicación de la biotecnología para mejorar la producción de los cultivos y ganado con fines alimentarios. En la crianza selectiva, los organismos con determinados rasgos se emparejan a propósito para que se reproduzcan. En la actualidad, el avance del desarrollo de la biotecnología se divide en cuatro grandes épocas:

#### a) Producción biológica de alimentos y bebidas

Los sumerios y los babilonios bebían cerveza desde el año 6000 a. C.; los egipcios cocían el pan desde el año 4000 a. C.; el vino era conocido en el Oriente Próximo en el tiempo del libro del Génesis. Los microorganismos fueron apreciados por primera vez en el siglo XVII por Antón Leeuwenhoek, quien desarrolló la microscopía simple; a su vez, la capacidad de fermentación de los microorganismos se demostró entre 1857 y 1876 por Louis Pasteur, el padre de la biotecnología. La producción de quesos es de origen ancestral, como lo es el cultivo de hongos (William, 2010).

#### b) Procesos biotecnológicos desarrollados inicialmente bajo condiciones no estériles

El etanol, ácido acético, butanol y acetona se produjeron a finales del siglo XIX por procesos de fermentación microbianos abiertos. El tratamiento de las aguas residuales y descomposición de los residuos sólidos municipales creó la mayor capacidad de fermentación practicada a través del mundo.

#### c) Introducción de la esterilidad en los procesos biotecnológicos

En 1928, Alexander Fleming descubrió que el moho *Penicillium* inhibía el crecimiento de una bacteria llamada *Staphylococcus aureus*, que provoca enfermedades cutáneas en humanos. En la década de 1940, se aplicaron complicadas técnicas de ingeniería al cultivo en masa de microorganismos para excluir los microorganismos contaminantes; entre las cuales se mencionan el cultivo de antibióticos, aminoácidos, ácidos orgánicos, enzimas, esteroides, polisacáridos, vacunas y anticuerpos monoclonales.

#### d) Aplicación de la genética y tecnología del ADN recombinante

Durante mucho tiempo, se practicó la mejora de las estirpes de organismos industrialmente importantes; las técnicas del ADN recombinante, junto con la fusión de protoplastos, permitieron la nueva programación de las propiedades biológicas de los microorganismos. La tecnología del ADN recombinante tiene un importante impacto en la salud humana gracias a la identificación de enfermedades genéticas. El último récord de la tecnología del ADN recombinante lo alcanzó el Proyecto del Genoma Humano, un esfuerzo internacional que comenzó en 1990. La tecnología del ADN recombinante ha dado lugar a cientos de aplicaciones, incluyendo el desarrollo de plantas resistentes a enfermedades, cultivos de frutas o vegetales de mayor productividad, el "arroz dorado" creado para ser más nutritivo y una bacteria creada genéticamente capaz de degradar contaminantes medioambientales (William, 2010).

#### Cronología de la biotecnología vegetal

- 6000 a. C: los sumerios y babilonios fabrican cerveza empleando levaduras.
- 4000 a. C: los egipcios descubren cómo preparar pan leudado. Se establecen otros procesos de fermentación en el mundo antiguo, especialmente en China.
- 1492 d. C: Cristóbal Colón y otros exploradores que visitan América, llevan maíz (originario de este continente) al resto del mundo, y los cultivadores europeos adaptan el cultivo a sus condiciones locales. Los navegantes también llevan papas, cultivo nativo de los Andes americanos.
- 1630 d. C: William Harvey concluye que las plantas y los animales se reproducen sexualmente; la contraparte masculina aporta el polen y la femenina los ovocitos. Pasarán más de 200 años hasta corroborarse por microscopía la existencia de las gametas.
- 1665 d. C: Robert Hooke observa la estructura celular del corcho. Pasarán 200 años hasta que las técnicas microscópicas permitan a los científicos descubrir que todos los organismos están compuestos por células.



- 1673 d. C: Anton Van Leeuwenhoek, comerciante holandés, utiliza sus "microscopios" para realizar descubrimientos en microbiología. Es el primer investigador en describir a las bacterias y protozoos.
- 1750-1850: los agricultores en Europa aumentan el cultivo de leguminosas y comienzan a practicar la rotación de cultivos para mejorar el rendimiento y el uso de la tierra.
- 1850s: nuevas herramientas agrícolas (arados tirados por caballos, máquinas sembradoras, cortadoras de forrajes, rastillos) se vuelven populares en Europa, y en EE. UU., se introduce alimento para animales procesado industrialmente y fertilizantes inorgánicos, revolucionando las prácticas agrícolas. 1856: Luis Pasteur (1822-1895) demuestra que los microorganismos son responsables de la fermentación. Sus experimentos posteriores demostrarán que la fermentación es el resultado de la actividad de levaduras y bacterias.
- 1864: Luis Pasteur desarrolla el proceso de pasteurización, calentando el líquido hasta lograr la inactivación de los microorganismos presentes, que podrían agriarlo. Desde entonces productos como la leche pueden ser transportados sin deteriorarse.
- 1865: Gregor Mendel (1822-1884), un monje austriaco presenta las "leyes de la herencia".
- 1897: el químico alemán Eduard Buchner demuestra que la fermentación puede ocurrir en un extracto de levaduras (sin levaduras vivas), un descubrimiento clave para la bioquímica y la enzimología.
- 1900: avanza la genética con el redescubrimiento de las Leyes de Mendel.
- 1933: Se comercializan las primeras semillas de maíz híbrido.
- 1935: Andrei Nikolaevitch Belozersky aísla ADN en estado puro por primera vez.
- 1944: se produce penicilina a gran escala.
- 1958: Arthur Kornberg descubre y aísla la ADN polimerasa, que se convierte en la primera enzima para sintetizar ADN en un tubo de ensayo.
- 1959: Reinart es capaz de regenerar plantas completas a partir de los cultivos indiferenciados de callos de zanahoria.
- 1973: por primera vez los científicos logran transferir ADN de un organismo a otro.
- 1980: EE. UU. establece que, en su país, los organismos modificados genéticamente son patentables.
- 1987: se generan plantas transgénicas para resistencia a insectos (mediante proteína de *Bacillus thuringiensis*) y resistencia a herbicidas.
- 1990: Calgene conduce el primer ensayo de campo exitoso con plantas de algodón transgénicas.
- 1991: se crea una instancia de consulta y apoyo técnico para asesorar al Secretario de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación en la formulación e implementación de la regulación para la introducción y liberación al ambiente de materiales animales y vegetales obtenidos mediante Ingeniería Genética.
- 1992: se reporta la transformación estable de trigo.
- 1994: la FDA aprueba el primer cultivo genéticamente modificado utilizado como alimento: el tomate *Flavr Savr*.
- 1996: se aprueba la comercialización de los primeros cultivos transgénicos (soja, algodón y maíz).
- 1999: se completa la primera secuencia de un cromosoma humano, el cromosoma 22.
- 2000: se completa la secuenciación de los genomas de la planta modelo *Arabidopsis thaliana*.
- 2002: se completa por primera vez el genoma de un cultivo comestible, el arroz.
- 2003: se completa el Proyecto Genoma Humano, con un total de 2,85 mil millones de nucleótidos secuenciados.
- 2006: los cultivos GM alcanzan las 100 millones de hectáreas en todo el mundo.
- 2008: científicos japoneses desarrollan la primera rosa azul.
- 2010: un consorcio internacional de investigadores logra secuenciar el genoma completo de la frutilla silvestre.

- 2011: se logra la secuenciación del genoma de la papa realizada por un grupo de científicos de 14 países.
- 2012: Argentina ocupa el tercer lugar, con casi 24 millones de hectáreas de soja, maíz y algodón.
- 2013: consorcio internacional logra descifrar el genoma del garbanzo. Además, un equipo de investigadores de diferentes países secuencia y ensambla el genoma del kiwi.

## La biotecnología y sus actores

En el desarrollo Biotecnología intervienen diversos actores tales como: científicos, tecnólogos, empresas, activistas ambientalistas y conservacionistas; decisores y administradores públicos.

Según Luján, *et al.* (2004), alrededor de los años sesenta, diversos movimientos sociales tomaron como objeto de interés el desarrollo tecnológico, tema que se ha convertido en objeto de escrutinio público y debate político. Las causas para que esto ocurriera fueron de diferente índole: una sucesión de grandes accidentes tecnológicos y su conversión en objeto de atención por parte de los medios de comunicación; un progresivo deterioro de la confianza ciudadana en los expertos y en la administración pública; y una politización de los asuntos relacionados con la protección de la salud pública y del entorno físico (Brown, 1989).

Los científicos y tecnólogos han sido conscientes de la preocupación pública por la investigación en Biotecnología e Ingeniería Genética. De igual manera, las administraciones y decisores públicos gubernamentales han desarrollado un triple papel al auspiciar estudios sobre percepción pública de la biotecnología y sobre sus aspectos sociales; además, de potenciar la investigación en biotecnología y reglamentar la investigación y la aplicación productiva de la biotecnología (Baark, 1991).

En tal sentido, los países más desarrollados han puesto en marcha programas específicos para potenciar la I+D en biotecnología entre ellos, Estados Unidos, Reino Unido, Francia, Alemania, Dinamarca, Japón (Moreno, 1992).

Por otra parte, Baark (1991) menciona los activistas defensores de la protección del ambiente, ambientalistas y conservacionistas, han optado por una oposición radical a la biotecnología utilizando el arma del litigio y las denuncias ante los tribunales. Una estrategia frecuente de los grupos activistas es su recurso a los medios de comunicación y a la movilización social.

## Impactos de las tecnologías en el mundo

### Situación de los cultivos transgénicos en el 2017

Según el informe del Servicio para la Adquisición de Aplicaciones Agrobiotecnológicas (por sus siglas en inglés, ISAAA), en 2017 la superficie mundial con cultivos transgénicos aumentó a 189.8 millones de hectáreas, lo que equivale al 12,7 % de la superficie arable del planeta (ver Figura N° 1). Asimismo, la superficie con cultivos transgénicos ha aumentado casi 112 veces desde 1996, totalizando un área acumulada entre 1996-2017 de 2.300 millones de hectáreas.

El ISAAA también menciona que es la tecnología de mayor tasa de aceptación en la historia de la agricultura, con once cultivos transgénicos disponibles comercialmente (maíz, soja, algodón, canola, remolacha azucarera, alfalfa, berenjena, papaya, zapallo italiano, manzana y papa) siendo la soja genéticamente modificada con mayor porcentaje de producción con el 50 % del área total.

Estos cultivos han sido mejorados para disminuir las pérdidas y proporcionarles resistencia a insectos plaga, tolerancia a herbicidas para controlar malezas, resistencia a enfermedades, adaptación a condiciones climáticas adversas. Los principales países son EE. UU., Brasil, Argentina, Canadá e India quienes representan 91,3 % de las 189.8 millones de hectáreas del mundo, 10 países en Latinoamérica crecieron cultivos transgénicos (79.4 millones de hectáreas) y para la Unión Europea, España y Portugal, sembraron un total de 131.535 hectáreas de maíz transgénico resistente a insectos (maíz Bt).

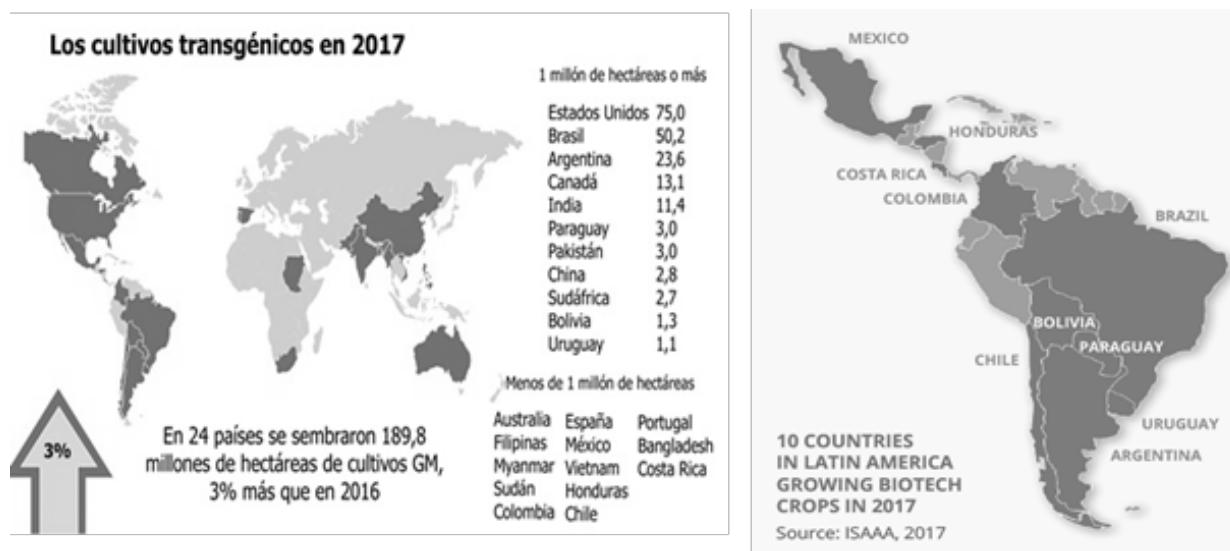
El ISAAA, también refleja en su informe 2017 que los países que adoptaron la soya modificada mediante biotecnología en un nivel superior al 90 % fueron EE. UU., Brasil,



Argentina, Paraguay, Sudáfrica, Bolivia y Uruguay; en cuanto al maíz genéticamente modificado, los países que mostraron un nivel de adopción del 90 % o superior fueron EE. UU., Brasil, Argentina, Canadá, Sudáfrica y Uruguay; los países que adoptaron el algodón genéticamente modificado en un nivel que alcanza o supera el 90 % son EE. UU., Argentina, India, Paraguay, Pakistán, China, México, Sudáfrica y Australia; y por último, los países que adoptaron la canola genéticamente modificada en un 90 % o superior son EE. UU., y

Canadá. Más importante aún, es el hecho de que estos son los mismos países que exportan los alimentos que necesita el resto del mundo, incluso los grandes países en desarrollo. Las variedades de soya modificadas mediante biotecnología abarcan el 50 % del área destinada a cultivos biotecnológicos en todo el mundo. En términos del área destinada a cultivos individuales en todo el mundo en 2017, el 77 % corresponde a la soya, el 80 %, al algodón, el 32 % al maíz y el 30 % a la canola.

**Figura N°1.** Situación de los cultivos transgénicos- países productores GM



**Fuente:** Servicio para la Adquisición de Aplicaciones Agrobiotecnológicas (2017).

## Beneficios Sociales

Para 2017, ISAAA informa que hubo mejoras en la disponibilidad comercial y la plantación de frutas y verduras biotecnológicas con beneficios directos para el consumidor.

Señala Teng (2018) que los cultivos biotecnológicos ofrecen enormes ventajas para el medioambiente, la salud de las personas y los animales, y contribuyen a mejorar las condiciones socioeconómicas de los agricultores, actualmente la reciente producción de cultivos modificados mediante biotecnología de última generación, como manzanas y papas que no se deterioran ni se dañan, la piña superdulce enriquecida con antocianinas, el maíz con mazorcas de mayor biomasa y altos niveles de amilosa, y

la soya con contenido modificado de aceite, combinados con la autorización para comercializar caña de azúcar resistente a los insectos, permite ofrecer más variedad a los consumidores y los productores de alimentos.

De igual manera, Smith, *et al.* (2017), menciona dos generaciones de papas Innate® recibieron la aprobación de EE. UU., y Canadá, una con resistencia a las magulladuras y a la oxidación, y menor contenido de acrilamida y la otra con las características mencionadas anteriormente, además de bajos niveles de azúcares reductores y protección contra pestes en etapas tardías. En EE. UU., también se aprobaron las manzanas Arctic®, que no se oxidan y en

Bangladesh, las berenjenas Bt. Todos estos productos son más sostenibles para los consumidores y también para el medioambiente.

Aunado a esto, el récord de 189,8 millones de hectáreas de cultivos biotecnológicos cultivados en todo el mundo, la expansión continua de la adopción de cultivos GM ofrece características de calidad nutricional beneficiosas que pueden ayudar a compensar el impacto del cambio climático que drena la nutrición en ciertos cultivos.

No obstante, se ha generado una polémica con respecto al tema en torno al desconocimiento de la tecnología y se ha mezclado también una parte comercial que no se opone a las tecnologías. Sin embargo, cada producto que le llega al agricultor o al consumidor, hay 136 millones de dólares, de los cuales 45,9 se invierten en temas de garantía de la inocuidad y en temas de regulación. Entonces, hay detrás de cada producto un proceso que garantiza que es seguro. Los OGM caso por caso, cuenta con el tiempo necesario para analizar cosas como estudios de laboratorio, datos nutricionales, alergenicidad, impactos en el ambiente, especificidad y modo de acción. Todos estos datos que están alrededor de la tecnología garantizan que se está llevando un producto seguro al consumidor final. Por esto más de 3.400 científicos han declarado su apoyo a la biotecnología agrícola y los cultivos genéticamente modificados.

Además de existir reuniones contantes para evaluar cada caso, una de las vivencias más recientes fue en 2018 en el Simposio Internacional de la FAO sobre la función de las biotecnologías agrícolas en los sistemas alimentarios sostenibles y la nutrición en América Latina y el Caribe y África del Norte y el Cercano Oriente.

Otro de los beneficios sociales, que ha proporcionado la tecnología en el mundo es la berenjena Bt siendo el primer cultivo alimentario genéticamente modificado que se introdujo con éxito en el sur de Asia. Este rubro ayuda a cientos de agricultores (los más pobres del mundo) a alimentar a sus familias y comunidades, al mismo tiempo que reduce el uso de pesticidas.

Ansar Ali obtuvo solo 11,000 taka (unos 130 dólares de Estados Unidos) de berenjena que creció el año pasado

en Bangladesh. Este año, después de plantar berenjena Bt, trajo a casa más del doble de esa cantidad, 27,000 taka. Es una mejora que cambia la vida de un agricultor de subsistencia como Ali (AgroA, 2017).

Por otra parte, no todo lo relacionado a estos cultivos ha sido en positivo, pues la organización ambiental Greenpeace hacen especial énfasis al bloqueo del arroz dorado, una variedad transgénica que podría reducir la deficiencia de vitamina A, la principal causa de ceguera infantil a nivel mundial, afectando a 250.000 – 500.000 niños cada año. La mitad mueren en los 12 primeros meses después de haber perdido la vista, según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Un estudio realizado por investigadores alemanes en 2014 estimó que la oposición activista a la liberación del arroz dorado ha dado como resultado la pérdida de 1,4 millones de años de vida solo en la India. Sin embargo, un total de 109 científicos galardonados con el Premio Nobel, han firmado una carta conjunta pidiendo a la organización ambiental Greenpeace que ponga fin a su oposición a los organismos genéticamente modificados (OGM), por su parte, la OMS estima que 250 millones de personas sufren de carencia de vitamina A, incluyendo el 40 de los niños menores de cinco años en los países más pobres. Sobre la base de las estadísticas del Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (por sus siglas en inglés, UNICEF), existen entre uno y dos millones de muertes prevenibles cada año por esta deficiencia, ya que se está comprometiendo el sistema inmunológico, poniendo en gran riesgo a los bebés y niños.

## Impactos de las tecnologías en América latina

### Producción de semilla transgénicas

La comercialización mundial de cultivos genéticamente modificados (CGM), representa una superficie total cultivada importante.

De 28 países que los cultivan, 10 son de América Latina, de estos, siete son considerados megaproductores: Brasil, Argentina, Paraguay, Uruguay, Bolivia, México y Co-



Iombia; tres siembran menos de 0,05 millones de Ha: Honduras, Chile y Costa Rica. En conjunto, estos países cultivan un 42 % del área mundial sembrada con CGM, principalmente de soya, maíz, algodón y canola, con un total de 75 millones de Ha. Por cuarto año consecutivo, en el 2015 los países en desarrollo superan a los industrializados en esta tecnología.

Brasil es el segundo productor mundial y el mayor productor comercial de CGM en América Latina; se sembraron un total de 44,2 millones de Ha (soya, maíz y algodón) en el 2015, lo que representa un 25 % del total mundial. Así, el país logra consolidar su posición como líder agrícola a nivel global.

Con el ingreso de Brasil a la Organización Mundial de Comercio (OMC) en los años 90, se dieron importantes cambios en el marco legal de la agricultura: la creación de las leyes de bioseguridad (1995) y la de protección de variedades (1997); finalmente, una nueva legislación para la producción y el comercio de semillas en 2003.

Asimismo, Honduras, Chile y Costa Rica siembran menos de 0,05 millones de Ha de cultivos transgénicos a nivel comercial.

Sin embargo, Chile es un país clave para proveer semillas de contraestación a países del hemisferio norte. En el país está permitido y regulado el uso de cultivos transgénicos para la producción de semillas con fines de exportación, destinados principalmente como servicios de contraestación y la reproducción controlada de semilla para fines de investigación y ensayos de campo.

La evolución de la superficie sembrada con semillas transgénicas en Chile varía según la demanda de los mercados de destino de la semilla transgénica producida. En la temporada del 2017 al 2018 de la superficie total de semilleros transgénicos en el país (13.900 hectáreas) el 56 % correspondió a semilleros de maíz, el 27 % a semilleros de canola y el 17 % a semilleros de soja (Sánchez y León, 2016).

De acuerdo, con las cifras del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), durante 2017, en Colombia se sembraron 86.030 hectáreas de maíz genéticamente modifica-

do (GM), 9.075 de algodón y 12 hectáreas de flores azules para un total de 95.117 hectáreas de cultivos transgénicos. Así mismo, la información muestra que el número de departamentos que adoptaron la tecnología aumentaron respecto al año anterior. En Colombia los agricultores que siembran este tipo de cultivos encuentran en el mercado las características de resistencia a algunos insectos y tolerancia a herbicidas.

En 2017 se sembraron cultivos transgénicos en 24 departamentos de Colombia. Los departamentos líderes en producción de cultivos genéticamente modificados son Meta, Córdoba y Tolima, siendo este último, el departamento que más crece en maíz transgénico. Esto ha facilitado el trabajo en campo a los agricultores, les ayuda a proteger sus cosechas y a hacer un mejor uso de sus recursos haciéndolos más rentables y competitivos.

Para el año 2018 en Argentina se reglamentó la Ley 26.270 de *Desarrollo y Producción de la Biotecnología Moderna*, sancionada en 2007. La reglamentación promueve la actividad por medio de un fondo de financiamiento para nuevos emprendimientos y beneficios fiscales para empresas nacionales de biotecnología ya establecidas. Este es uno de los países líderes en la utilización de cultivos OGM, además, fue el primer país de Latinoamérica que implementó un sistema para evaluar la bioseguridad de los cultivos transgénicos (Bustaman, 2016).

## Investigaciones recientes en Biotecnología vegetal

### Las nuevas técnicas de mejoramiento

Según, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) los principales productores de alimentos, países como Rusia, Sudáfrica, Brasil, Perú, México, China, Japón e India, han adoptado diversas técnicas biotecnológicas, también denominadas "Nuevas Técnicas de Ingeniería de Plantas", que aumenta y acelera el desarrollo de nuevos rasgos en el fitomejoramiento, realizando cambios específicos dentro del ADN de la planta para cambiar sus rasgos, donde estas modificaciones pueden variar

en escala desde la alteración de una sola base hasta la inserción o eliminación de uno o más genes (Fernández, 2017).

Es así, como están emergiendo nuevas técnicas de ingeniería genética (NBTs) que se están discutiendo en la Comisión Europea –además- es importante ser consciente de que estas técnicas pueden combinarse y usarse de manera repetitiva hasta conseguir los resultados que interesen, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes (Steinbrecher, 2015).

*1. Nucleasas de Dedos de Zinc (ZFN) de tipos -1, -2 y -3 (técnicas de edición de genes).*

Estas técnicas promueven cambios deliberados durante la creación del genoma y de los rasgos de un organismo. Hoy otras técnicas se encuentran en la vanguardia, pero solo esta se encuentra en la lista de la Comunidad Europea.

*2. Mutagénesis dirigida por oligonucleótidos (ODM)*

Crea pequeños y prediseñados cambios en posiciones de los genes muy específicas, para así cambiar su función o eliminarla. Para los objetivos de la ODM, un oligonucleótido es un pequeño tramo de ácidos nucleicos de una simple hélice, formado por unos pocos nucleótidos sintéticos.

*3. Cisgénesis e Intragénesis.*

La cisgénesis trata de insertar un ADN creado a partir de la copia exacta sintética de una secuencia de un gen encontrada en un organismo donante similar.

La intragénesis trata de introducir una secuencia de un gen, que es un conglomerado de diferentes genes de una o más especies cercanas.

*4. Metilación de ADN dependiente de ARN (RdDM)*

Obtienen un nuevo rasgo para un número de generaciones en una semilla, sin modificar ninguna secuencia de ADN (nucleótidos) del organismo, esquivando el nombre de OMG. Mediante este proceso se pueden silenciar genes específicos dentro de las células, y obtener ciertos rasgos deseados.

*5. Injerto (sobre un patrón modificado genéticamente)*

En este caso, a pesar de conservar ambos individuos su identidad genética, varias de las moléculas, proteínas, ciertos tipos de ARN (dsARN) u hormonas pueden circular libremente por toda la planta.

*6. Mejora inversa (RB).*

Esta técnica trata de recuperar rasgos genéticos de especies antiguas o extinguidas.

*7. Agro-infiltración (tanto Agro-infiltración "sensu stricto" como Agro-inoculación)*

Este método incluye dos tipos de tecnologías distintas. No se trata de crear genes MG de carácter estable en el genoma de la planta, sino que lo estén de manera transitoria, como máximo durante una generación.

**Algunas de las experiencias más destacadas de acuerdo a estas nuevas técnicas tenemos:**

Una nueva variedad de piña rosada genéticamente modificada (GM) de color rosado, alta en el antioxidante licopeno, recibió la aprobación de comercialización por parte de la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos, ha sido genéticamente modificada para producir niveles más bajos de enzimas que ya están en la piña convencional, las cuales convierten el pigmento rosa (licopeno) en pigmento amarillo (beta-caroteno). La piña rosa se desarrolló sobreexpresando un gen de la misma piña y otro derivado del naranjo dulce (*Citrus × sinensis*), y silenciando los genes de dos enzimas de la piña mediante ARN de interferencia, para mantener la pulpa de la fruta más rosada y más dulce.

Otra experiencia, exitosa fue el caso de Nigeria: la Agencia Nacional para el Manejo de la Bioseguridad de Nigeria (NBMA), menciona que luego de nueve años de ensayos intensivos del frijol caupí genéticamente modificados (GM) resistente a *Maruca vitrata*, un insecto que puede causar una pérdida de rendimiento de hasta el 80 por ciento, han demostrado que el frijol Bt reducirá el uso de pesticidas de ocho a aproximadamente dos pulverizacio-



nes por temporada y aumentará el rendimiento hasta en un 20 por ciento.

Así mismo se presentan Investigadores de la *University of Copenhagen* quienes han desarrollado con éxito de este cultivo de oleaginosas con una mayor resistencia al calor, la sequía y las enfermedades comunes es este cultivo; la mostaza GM, nueva aliada biotecnológica contra el cambio climático, permitirá que el cultivo pueda desarrollarse en zonas en las que hoy en día no son adecuadas para cultivos de colza como el occidente de Canadá, zonas de Europa Oriental, Australia y la India.

En el mismo continente, agencias estadounidenses *Food and Drug Administration* (FDA) junto a la *Environmental Protection Agency* (EPA), dieron aprobación a la compañía JR Simplot Co. para la producción de papas genéticamente modificadas (GM). Las papas tienen el mismo sabor, textura y contenido nutricional que su contraparte convencional estas variedades tienen solo genes de papas; y, que la resistencia al tizón tardío que se le añadió viene de una variedad de papa argentina que produce naturalmente una sustancia para su defensa. Estas papas reducen la generación de magulladuras y manchas negras, se mantienen en mejores condiciones cuando están almacenadas y una menor producción de una sustancia química, potencialmente cancerígena, que producen las papas cuando se cocinan a altas temperaturas.

Por otra parte, las tendencias más recientes las muestra Japón ampliando el mercado con cultivos en láminas de hidrogel, es una tecnología revolucionaria que hace posible cultivar prácticamente en cualquier lugar: desierto, cemento, pantanos, suelos contaminados y otros, utiliza láminas impermeables para separar los cultivos del suelo que tiene debajo.

Así mismo, entonces se puede aseverar que no solo las tecnologías están dirigidas a organismos modificados, también se tiene la experiencia de España donde los desarrollos biotecnológicos en agricultura crecen un 5 % en 2017, según la Asociación Española de Bioempresas (Asebio) la Plataforma de Mercados Biotecnológicos, está focalizada

en generar bioproductos (como biofertilizantes o bioestimulantes), bioprocessos, medicamentos veterinarios.

Perú y Chile, también consideraron la necesidad de generar una producción sostenible y sustentable, con plantas resistentes y que requieran el mínimo de insumos. Así también, maximizar la producción y desarrollar alimentos saludables a partir de proteínas y ácidos grasos vegetales, (Concytec, 2024).

En otro orden de ideas, existe otra herramienta biotecnológica que revolucionado la ciencia es la aplicación de la nanotecnología para formulación de plaguicidas, fertilizantes y otros agroquímicos. El uso de nuevas tecnologías está adquiriendo cada vez más protagonismo en la vida diaria.

Ya existen estudios que confirman que las nanopartículas metálicas son efectivas contra los patógenos de plantas, insectos y plagas. En México la empresa nanotecnológica Flamel desarrolló su herbicida Roundup con una nueva formulación en nanocápsulas. Pharmacia fabricó nanocápsulas de liberación lenta usada en agentes biológicos como fármacos, insecticidas, fungicidas, plaguicidas, herbicidas y fertilizantes. Syngenta utiliza la tecnología Zeon, que son microcápsulas de 250 nm, que son liberadas al contacto con las hojas, también tiene una nanocápsula que libera su contenido al contacto con el estómago de ciertos insectos.

Siguiendo el mismo orden de ideas, en los años setenta marcaron el inicio de la era de la Ingeniería Genética, se presenta la tecnología CRISPR es una reciente herramienta de edición del genoma que actúa como unas tijeras moleculares capaces de cortar cualquier secuencia de ADN del genoma de forma específica y permitir la inserción de cambios en la misma. El desarrollo de la tecnología CRISPR-Cas ha inaugurado una nueva era para la Ingeniería Genética en la que se puede editar, corregir y alterar el genoma de cualquier célula de una manera fácil, rápida, barata y altamente precisa.

Sin embargo, esto no basta para los científicos, van en busca más para saber de los diversos avances científicos, pues estamos a la espera en puerta de un cambio climáti-

co inmedible, por lo que sugieren buscar nuevas alternativas de producción fuera de nuestras fronteras, analizando en tiempo real si las plantas diseñadas para la fabricación biológica de proteínas específicas pueden hacerlo en el espacio. El experimento denominado Hydra-1, se encuentra en el campo de la biología sintética, que busca diseñar sistemas biológicos para imitar a los organismos naturales, con el propósito de diseñar plantas para no solo producir alimentos y oxígeno en el espacio, sino también un medicamento o polímero potencialmente necesario para usar en futuras misiones de exploración espacial a largo plazo.

## Trabajos de investigación de gran impacto 2016-2018

### a) Descubierta una nueva ruta de inmunidad vegetal que comparte elementos reguladores con la del desarrollo de estomas

Investigadores del CBGP (UPM-INIA) pertenecientes al grupo de "Inmunidad innata de las plantas y resistencia a hongos necrotróficos", realizado en colaboración con varios grupos de investigación internacionales, se publicó en la revista *New Phytologist* y demuestra que las plantas han sido capaces de aprovechar para modular respuesta de inmunidad parte de los componentes señalizadores que regulan la formación de estomas, como ERECTA (ER), un receptor de tipo quinasa de membrana, y YODA (YDA), una proteína quinasa de tipo MAP3K.

Las plantas CA-YDA presentan alteraciones en sus paredes celulares y expresan de forma constitutiva de genes relacionados con defensa, entre los que cabe destacar algunos que codifican posibles péptidos extracelulares (*small secreted peptides, SSPs*) y diversas proteínas receptoras de membrana (PRRs) (Bautista, et al., 2017).

### b) Identificada una familia de cochaperonas implicada en la termotolerancia de las plantas a altas temperaturas

HOP es una familia de proteínas que interaccionan con las chaperonas HSP70 y HSP90. Diferentes miembros de la familia de las proteínas HSP70 y HSP90 juegan un papel importante en diversos procesos de desarrollo y en la respuesta de las plantas a diferentes estreses ambientales,

demuestran que la familia HOP juega un papel esencial el proceso que permite a las plantas tolerar temperaturas extremas durante varios días tras un proceso de aclimatación previo (Bautista, et al., 2017).

### c) *MtMOT1.2* es el transportador responsable de la entrega de molibdato a los nódulos de *Medicago truncatula*

Se trata de un transportador de la membrana plasmática de la célula que introduce los metales en células de la endodermis de los vasos. La reducción de los niveles de expresión de este transportador resulta en la reducción de la capacidad de fijar nitrógeno de los nódulos. Esto es debido a la falta de un cofactor esencial para el funcionamiento de la nitrogenasa (Gil, et al., 2017).

### d) La longitud de los extremos 3' de los ARN mensajeros está implicada en la regulación de los mecanismos de virulencia y señalización en el hongo de la piriculariosis del arroz

Demuestran cómo la variación de los extremos 3' de los ARNs del genoma de *Magnaporthe oryzae*, el agente causal de la piriculariosis del arroz pueden afectar a la biología del hongo. Han caracterizado de manera más exhaustiva el extremo 3' no codificador del ARN mensajero de la proteína 14-3-3, que puede controlar mecanismos de virulencia en este hongo. Estos resultados han permitido además estudios comparativos de los sitios de poliadenilación entre distintas especies dentro del reino de los hongos y del árbol de la vida (Rodríguez, et al., 2017).

### e) Efecto del carbón activado en la germinación y brotación in vitro de *Citrus limon* (L.) y su dinámica de crecimiento

Se han enfocado en la influencia de reguladores de crecimiento para su propagación. La evaluación de la adición de carbón activado en el medio de cultivo, obteniendo mejores resultados que investigaciones sobre adición de fitoreguladores. El cultivo in vitro de C. Limon en medio Murashige and Skoog (MS) adicionado con carbón activado (1 g.L<sup>-1</sup>), permitió obtener resultados favorables en las variables, días a la germinación y brotación (Vaca, et al., 2017).

### f) Converting C3 to C4 photosynthesis for sustainable agriculture

El proyecto 3 a 4 se centra en comprender los rasgos del desarrollo de las hojas, la biología celular y la bioquímica



ca asociada con la eficiente fotosíntesis de C4 y transferir estos rasgos a los cultivos de C3.

La reducción de la fotorrespiración en los cultivos C3 actuales, o la conversión de la fotosíntesis de C3 a C4, tiene beneficios económicos y ambientales potencialmente grandes; a través de la mayor productividad y las menores entradas requeridas por C4., se pretenden impulsar la fotosíntesis para satisfacer la creciente demanda mundial de alimentos mediante la modificación de su enzima clave conocida como Rubisco.

## Percepción pública

Las interpretaciones usuales de los estudios de percepción pública, tanto de la biotecnología en particular, como de la ciencia y la tecnología en general, han adoptado el denominado modelo del “déficit cognitivo” es decir: cuanto menor es el grado de información mayor es el grado de oposición (Millar y Wynne, 1988; Levidow y Tait, 1992).

Las líneas de investigación para abordar la complejidad de las representaciones y las actitudes públicas en relación con la ciencia y la tecnología, han sido complejas debido a que la actitud frente a la investigación y a los productos tecnológicos se destacan, al tratar el tema de la aplicación de la Ingeniería Genética, sobre productos de uso alimentario donde la escala de aceptación ética de las aplicaciones de dicha ingeniería es muy baja (IESA, et al., 1990).

Sin embargo, la percepción pública sigue siendo uno de los instrumentos básicos para evaluar el potencial de desarrollo de la biotecnología; la aceptación de nuevas tecnologías va a depender de diversos aspectos culturales y, en este caso, incluso de valores sociales que, aun en un mundo global, nos obligan a considerar la casuística particular de cada país (Biosca, 2004).

Por lo antes señalado, el enorme potencial que tiene la Biotecnología debe ser explicado a la sociedad de forma clara, evitando un lenguaje excesivamente técnico e inasequible y sin caer, al mismo tiempo, en una simplificación excesiva (Francesc, 2004). Debido a que el componente del riesgo es el grado de incertidumbre, siendo el centro de muchos debates.

En el 2018 al igual que el sector privado, los científicos y fitomejoradores del sector público tienen grandes oportunidades al utilizar las NBTs en sus programas de mejoramiento genético vegetal, especialmente para los cultivos de interés local. Sin embargo, la adopción de estas tecnologías depende fundamentalmente de las exigencias regulatorias para su uso, debido al porcentaje de riesgo que esto implica para la humanidad.

Por lo tanto, existe para su aprobación, liberación y uso comercial respecto de los productos agrobiotecnológicos previamente desarrollados en cada país, ensayos exigidos por entidades regulatorias extranjeras, para el registro de productos agrobiotecnológicos con el fin de permitir su exportación.

En el ámbito internacional, 15 instrumentos legalmente vinculantes y códigos de práctica no vinculantes enfocan algún aspecto de la reglamentación o el comercio de OGM, donde se evalúan los impactos en relación con los beneficios y riesgos que también pueden surgir de alimentos que no hayan sido genéticamente modificados. La evaluación de inocuidad de los alimentos GM sigue un proceso escalonado asistido por una serie de preguntas estructuradas, identidad del gen de interés, incluyendo el análisis secuencial de las regiones flanqueantes y cantidad de copias; origen del gen de interés; composición del OGM; producto de la expresión proteica del ADN nuevo; toxicidad potencial; alergenicidad potencial; y posibles efectos secundarios de la expresión genética o ruptura del ADN huésped o vías metabólicas, incluyendo composición de críticos macronutrientes, micronutrientes, antinutrientes, tóxicos, endógenos, alérgenos y sustancias fisiológicamente activas, entre otras. El panel de expertos lo conforma la FAO/OMS.

## La Biotecnología vegetal en el futuro

FAO (2018) refiere que en el 2050, alrededor de 9.000 millones de personas, dependerá su alimentación, del aumento de la producción entre un 60 y el 90 % con respecto a los niveles actuales, con su correspondiente impacto medioambiental, o de que se racionalice su generación y

consumo. Igualmente, la producción anual de cereales habrá de aumentar desde los 2 a 100 millones de toneladas actuales hasta los 3.000 millones, mientras que la producción anual de carne deberá aumentar en más de 200 millones de toneladas hasta alcanzar los 470 millones.

El hambre puede persistir a pesar de existir un suministro total suficiente debido a la falta de oportunidades de ingresos para los pobres y a la ausencia de unas medidas protectoras sociales eficaces y además muchos países seguirán dependiendo del comercio internacional para garantizar su seguridad alimentaria. Aunado a esto, el cambio climático y el incremento de la producción de biocombustibles constituyen graves riesgos para la seguridad alimentaria a largo plazo y el aumento del uso de los cultivos alimentarios en la producción de biocombustibles podría tener graves implicaciones para la seguridad alimentaria (FAO, 2018).

Nuestro planeta posee recursos y tecnologías necesarias para erradicar el hambre y garantizar la seguridad alimentaria a largo plazo, a pesar de los múltiples desafíos y riesgos que existen. Habrá que movilizar la voluntad política y crear las instituciones necesarias para garantizar que las decisiones clave sobre las inversiones y las políticas para erradicar el hambre se toman y se ponen en práctica de manera eficaz para todos los sectores de la sociedad. Otro factor clave, que puede afectar de forma silenciosa, es el socioeconómico que motiva el incremento de la demanda alimentaria con el crecimiento de la población, el aumento de la urbanización y la subida de los ingresos.

La FAO prevé que, en el ámbito mundial, el 90 % (el 80 % en los países en desarrollo) del incremento de la producción de cultivos procederá de la intensificación, en particular del aumento del rendimiento y de la intensidad del cultivo, además, la media mundial diaria de disponibilidad de calorías aumentará hasta las 3.050 kcal por persona. Aunque esta proyección se cumpla en 2050, el nivel de disponibilidad de alimentos per cápita variará en función de cada país. No obstante, a menos que tenga lugar un gran cambio en las prioridades normativas el hambre no desaparecerá.

De igual modo, las inversiones públicas desempeñan un papel crucial a la hora de generar la oferta de bienes públicos, una situación propicia para las inversiones privadas y para mejorar la tecnología de los pequeños agricultores.

En la Cumbre Mundial sobre la Alimentación (CMA) de 1996 los Jefes de Estado y de Gobierno realizaron la siguiente declaración:

Prometemos consagrar nuestra voluntad política y nuestra dedicación común y nacional a conseguir la seguridad alimentaria para todos y a realizar un esfuerzo constante para erradicar el hambre de todos los países, con el objetivo inmediato de reducir el número de personas desnutridas a la mitad de su nivel actual no más tarde del año 2015.

Entonces, el primer llamado es para la biotecnología, que ha venido teniendo un objetivo con enfoque a desarrollar cultivos que sean resistentes a plagas, tolerantes a herbicidas y resistente a enfermedades, con beneficios dirigidos al agricultor. Sin embargo, en los próximos años vendrá lo que se conocerá como la segunda ola de la biotecnología, donde los beneficios ya no serán exclusivos para el agricultor sino también para los consumidores.

En la actualidad, los investigadores y científicos alrededor del mundo están trabajando en el desarrollo de cultivos genéticamente modificados que tengan características como:

- Mejora en calidad nutricional (vitaminas, minerales, proteínas, reducción del ácido en cítricos o de los aceites saturados).
- Mejores atributos sensoriales (sabor, textura).
- Remoción de alérgenos o de compuestos tóxicos.
- Mejoras en las características de procesamiento (menor absorción de grasa al freír).

Es por esto, que varios países están cambiando su conducta productiva, uno de ellos es El "nuevo Nueva York". Buscando transformar una de las míticas calles de Manhat-



tan, es solo una de miles ciudades en una gran área verde, con elementos modulares de fácil mantenimiento acordes con los requerimientos de los habitantes, como celdas fotovoltaicas, puntos WiFi, juegos para niños, dispositivos para recolección de lluvia, reciclado de desechos electrónicos, entre muchos más. Pero, lo más importante es la posibilidad de cambiar dichos elementos de acuerdo a la temporada o algún evento especial.

Por su parte, París ya tiene listo su gran proyecto para convertirse en 2050 en la ciudad del futuro; pues 2050 se está volviendo el año donde importantes ciudades están apuntando a un cambio radical dentro de su planeación urbana. Entre los elementos que ayudarán a este nuevo ecosistema nos encontramos con grandes torres residenciales que serán capaces de producir su propia electricidad gracias a que estarán construidas con celdas solares y escudos térmicos.

La ciudad también contará con nuevos parques verticales equipados con "biorreactores de algas", torres de bambú con huertas integradas y puentes con diseños inspirados en medusas, con mecanismos que buscan aprovechar el movimiento del viento y el agua en los ríos para así generar energía.

Un nuevo diseño urbano, que tal vez no busque transformar ciudades, pero si empiece por calles, edificios y elementos que integran nuestra ciudad, poco a poco, ya que transformar de un día para otro una ciudad conlleva riesgos de mantenimiento y fallos que por supuesto no se tienen contemplados.

## Conclusión

A través de las herramientas biotecnológicas se ha permitido obtener alimentos más completos y sanos, que contengan mayor variedad de nutrientes. Cada día es más evidente observar cómo los cultivos transgénicos van arropando mayor cantidad de superficie sembrada en el mundo, distribuidos por países europeos, asiáticos, americanos. En los últimos años, se han sumado a la lista más cultivos genéticamente modificados entre los cuales están: soja, maíz, algodón, canola, remolacha azucarera y alfalfa con

tolerancia a herbicidas; maíz, algodón, berenjena y caña de azúcar resistentes a insectos (Bt); maíz, algodón y soja con tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos combinadas. También se sembraron, aunque en superficies mucho menores: papaya y calabacín amarillo, resistentes a virus, maíz y caña de azúcar con tolerancia a sequía, clavel y rosa color azul, papa, entre otros. Finalmente está el tomate morado, con mayor contenido de antocianinas, aprobado en EE. UU., en 2023 que en la actualidad se comercializa en dicho país.

Es indiscutible y de total relevancia, que a través de diversas técnicas del área biotecnológica, se logró obtener en el mundo alimentos más sanos, seguros, resistentes a plagas y enfermedades, ambientes adversos, mejora en la calidad de los alimentos, así como datos moleculares y genéticos clave sobre procesos básicos de la planta. Las técnicas *in vitro*, también se han convertido en un trampolín del área biotecnológica como herramientas de producción sostenible, debido a la garantía de obtención de material vegetal de calidad genética y sanitaria.

Por otra parte, Venezuela ha promocionado un esfuerzo considerable desarrollando técnicas para reproducir especies vegetales locales y crear plantas más resistentes a las plagas con la intencionalidad de establecer modelos productivos en armonía con el medio ambiente y resguardo de nuestra biodiversidad. Entre los avances biotecnológicos más destacados está el diagnóstico de patógenos bacterianos y el mejoramiento de la calidad del ambiente, así como la producción de mejores alimentos a través de diversas técnicas avanzadas adaptadas al nuevo siglo y al cambio climático.

## Referencias

agroAlimentando. (2002). *Ciencia, innovación y tecnología al servicio de la agricultura y la alimentación*. Disponible en: <https://cals.cornell.edu/news/bt-eggplant-improving-lives-bangladesh/>.

Baark, E. (1991). *El Discurso Internacional sobre Políticas de Biotecnología: el Caso de la Bioseguridad*. Ciudad de México, México: Revista Mexicana de Sociología 2: 3-19.

- Biosca, D. (2004). *Percepción pública de la biotecnología*. Fundación Antama. Colombia: Tribuna Bionatura. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/39043596.pdf>.
- Brown, J.R. (1989). *Introduction: approaches, tools and methods*, en J.R. Brown, Environmental Threats: Perception, Analysis and Management, Londres: Editorial Belhaven Press.
- Bustamán, L. (2016). *Estudios de PG Economics: Beneficios socioeconómicos – Impacto ambiental*.
- DIARIO LA TRIBUNA. (2016). *Biotecnología-agrícola-moderna*. Honduras: editorial La tribuna. Disponible en: <http://www.latribuna.hn/2016/05/16>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2017). *Como alimentar el mundo en el 2050*. Organización de naciones unidas. Disponible en: <https://www.fao.org/home/es>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2018). *Oportunidades y retos de la biotecnología en el sector agroalimentario*. Disponible en: <https://www.fao.org/home/es>.
- Fernández, N. et al. (2018). *Hop family plays a major role in long term acquired thermotolerance in arabidopsis*. Plant, Cell & Environment. Disponible en: [10.1111/pce.13326](https://doi.org/10.1111/pce.13326).
- Galán, O. y Rodríguez, J. (2025). *Impact de la biotechnologies en los sectores agrícola y ganadero 2025*. Madrid, España. Editorial: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, FECYT.
- Gil-Díez, P; Tejada-Jiménez, M; León-Mediavilla, J; Wen, J; Mysore, KS; Imperial, J; González-Guerrero, M. (2018). *Mt-MOT1.2 is responsible for molybdate supply to *Medicago truncatula* nodules*. Plant, Cell & Environment. Disponible en: DOI: [10.1111/pce.13388](https://doi.org/10.1111/pce.13388).
- Hulse, H. (2019). *Biotecnologías: historia pasada, situación presente y perspectivas futuras*. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Colombia. Disponible en: <https://www.Biotecnología/historia pasada, situación presente y perspectivas futuras.html>.
- IESA.(1990). *Biotecnología y Opinión Pública en España* Instituto de Estudios Sociales Avanzados(informe), Madrid, España: Editorial IESA (CSIC).
- Infografía. (2018) Servicio para la Adquisición de Aplicaciones Agro biotecnológicas. Disponible: <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/53/infographic/default.asp>.
- Vaca, I. et al. (2018). *Efecto del carbón activado en la germinación y brotación in vitro de Citrus limón (L.) y su dinámica de crecimiento*: <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2018.03.03.5>.
- Fernández, R. (2017). *Nuevas técnicas de ingeniería genética y legislación europea sobre transgénicos*. Rebelión Disponible en: <http://www.rebelion.org/noticias/2017/5/226387.pdf>.
- Luján, J. y Moreno, L. (2014). *La Biotecnología, los actores y el público*. Instituto de Estudios Sociales Avanzados. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Caracas, Venezuela.
- Luján, L. (1992). *El Estudio Social de la Tecnología*, Estudios sobre Sociedad y Tecnología. San Martín, Barcelona: Anthropos.
- Moreno, L. y Lizón, A. (1992). *Biotecnología y Sociedad. Percepción y actitudes sociales*, Madrid, España: Editorial MOPT.
- Márquez, A. et al. (2017). *Aplicaciones de la biotecnología*. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Decanato de Agronomía. Programa de Ingeniería Agroindustrial. Barquisimeto, Lara: Revista Científica.
- Rodríguez, R. et al. (2018). *Virulence- and signaling-associated genes display a preference for long 3'UTRs during rice infection and metabolic stress in the rice blast fungus*. New Phytologist. USA. Disponible en: DOI: [10.1111/nph.15405](https://doi.org/10.1111/nph.15405).
- Sacsa, J. (2015). *Data análisis*. En Navolato, Sinaloa, México: Editorial Aldama No. 1620 Poniente.
- William, J. y Michael, A. (2010). *Introducción a la biotecnología*. Palladino. Editorial Pearson.