

# Evolución del uso de la biotecnología en los países del Consejo Agropecuario del Sur

Grupo de trabajo sobre Políticas Públicas en Biotecnología (GT5)  
de la Red de Políticas Agropecuarias del CAS.

— 2022

[www.consejocas.org](http://www.consejocas.org)



# RESPONSABLES DE LA ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO

## → Argentina

Ph.D. Ing. Agr. Dalia Marcela Lewi  
Lic. Facundo Simeone

## → Brasil

Ph.D. Ing. Agr. Fernanda Antinolfi Lovato  
Ph.D. Ing. Agr. Paulo Augusto Vianna Barroso

## → Chile

M.Sc. Teresa Agüero Teare

## → Paraguay

Ing. E.H. María Cristina Soerensen  
Ing. Agr. Helena Valdovinos

## → Uruguay

Ph.D. Ing. Agr. Alejandra Ferenczi

## → Compilación y coordinación editorial

Lic. Silvia Lede  
Ing. Agr. Alejandra Sarquis

## → Diseño y diagramación

Nomade Estudio

## → Coordinación general

SECRETARÍA TÉCNICO-ADMINISTRATIVA CAS  
Ing. Agr. Alejandra Sarquis  
Lic. Alexandra Chaves  
Sra. Yoselín Gallaztegui

# Sumario

---

1.La publicación en su contexto	04
1.1.¿Qué es el Grupo de Trabajo sobre Políticas Públicas en Biotecnología (GT5)?	05
1.2.Objetivo de la publicación	06
2.La importancia del sector agropecuario en la región del CAS	07
3.La Agenda 2030 para el desarrollo sostenible y el rol del sector agropecuario	10
4.La adopción de nuevas tecnologías en la sostenibilidad de la producción agropecuaria	12
5.Alcances de la biotecnología y el avance de la ciencia y la tecnología	14
6.La biotecnología tradicional: su contribución a la agricultura y a la producción de alimentos	15
7.La biotecnología moderna	19
7.1.La biotecnología moderna	21
7.2.Aplicación de la biotecnología moderna en animales	23
7.3.Aplicación de la biotecnología moderna en microorganismos	25
7.4.La biotecnología y las fábricas de moléculas	28
8.Los Cultivos Genéticamente Modificados (GM) en el mundo	30
9.Los Cultivos Genéticamente Modificados (GM) en la región del CAS	34
10.Desarrollos nacionales en la región del CAS que cuentan con aprobación comercial	41
10.1.Soja resistente a sequía y tolerante a glufosinato y soja resistente a sequía y tolerante a glufosinato de amonio y glifosato	42
10.2.Trigo tolerante a sequía	42
10.3.Papa resistente a virus PVY	44
10.4.Poroto resistente a virus	44
10.5.Caña de azúcar resistente a lepidópteros	45
10.6.Eucalipto con aumento de la productividad y eucalipto tolerante a glifosato	46
10.7. Soja tolerante a imidazolinonas	46
10.8. Maíz resistente a lepidópteros	47
11.Otros desarrollos que se encuentran en etapa experimental en la región del CAS	48
12.Nuevas técnicas de mejoramiento (NBT)	51
13.Beneficios socioeconómicos de los cultivos OGM	57
14.Conclusiones	60

# 01.

## La publicación en su contexto

---

Esta publicación surge en el contexto del Grupo de Trabajo sobre Políticas Públicas en Biotecnología de la Red de Políticas Agropecuarias (REDPA) del Consejo Agropecuario del Sur (CAS). EL CAS fue creado en abril de 2003 a través de un convenio constitutivo firmado por los ministros de agricultura de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay (CAS,2003). Es así que, se conforma el foro ministerial de consulta y coordinación de acciones que tiene como objetivo fundamental definir las prioridades de la agenda agropecuaria y tomar posición sobre temas de interés regional con el fin de articular el desarrollo de los acuerdos alcanzados. Constituye un mecanismo de diálogo, consulta y concertación de acciones de carácter regional en asuntos que conciernen al desarrollo sostenible del sector agropecuario, forestal y pesquero, la sanidad animal y vegetal, la inocuidad de alimentos, así como las negociaciones internacionales sobre comercio de productos agropecuarios, pesqueros y forestales.

La Secretaría Técnico Administrativa del CAS, encargada de articular las acciones del Consejo, fue encomendada al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) a través del Convenio de Cooperación entre los Ministros de Agricultura Miembros del Consejo Agropecuario del Sur (CAS) y el IICA.

El CAS cuenta con un entramado de grupos de apoyo técnico regional que sustentan y ponen en práctica las decisiones ministeriales que son el núcleo del organismo. Estos grupos especializados conforman la Red de Coordinación de Políticas Agropecuarias (REDPA) del CAS y participan en diferentes proyectos y acciones según las necesidades y prioridades de la región.

Actualmente, los grupos técnicos son:

- ➔ Sistema de Información y Análisis de Políticas Agropecuarias (GT1)
- ➔ Sistema de Información de Mercados (GT2)
- ➔ Manejo de Riesgos y Seguros Agropecuarios (GT3)
- ➔ Políticas Públicas en Cambio Climático (GT4)
- ➔ Políticas Públicas en Biotecnología (GT5)
- ➔ Políticas Públicas en Agroenergía (GT6)

FIGURA 1: ORGANIGRAMA DEL CAS



## 1.1

### ¿Qué es el Grupo de Trabajo sobre Políticas Públicas en Biotecnología (GT5)?

El CAS, mediante la resolución CAS/RES 10/2004 aprobada en 2004, encomendó a la REDPA trabajar en el área de la biotecnología agropecuaria, con cuya finalidad se constituyó el Grupo de Trabajo 5 (GT), conformado por integrantes de los equipos técnicos de políticas públicas en biotecnología de los Ministerios de Agricultura de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay. Desde entonces los países del CAS vienen conduciendo acciones regionales para lograr la armonización de los marcos regulatorios y la posible sincronización de las aprobaciones de los organismos genéticamente modificados (OGM), aspectos de comercialización y negociaciones en foros internacionales, investigación, información y comunicación. Este documento forma parte de ese mandato ministerial.

## 1.2

### Objetivo de la publicación

El objetivo principal de esta publicación es presentar la evolución del uso de las biotecnologías en los países del CAS. Es así que en las siguientes páginas se desarrollan temas diversos, entre otros, los beneficios del uso de la biotecnología y su potencial como herramienta para la producción agropecuaria en la región; la bioseguridad en el medio ambiente y en la inocuidad alimentaria tanto humana como animal; las nuevas técnicas de mejoramiento; el posicionamiento consensuado y coordinado del CAS en los foros internacionales, así como la mirada regional sobre los OGM, las acciones conjuntas realizadas, el fomento de los desarrollos nacionales y regionales, la importancia de la coordinación de las instituciones públicas de la región con visión estratégica y la colaboración entre los países miembros del foro para el fortalecimiento de las capacidades regulatorias.



02.

# La importancia del sector agropecuario en la región del CAS

---

La evidencia histórica ratifica la importancia del desarrollo del sector agropecuario que constituye la columna vertebral de muchas economías del mundo, es así que, en los países menos desarrollados la mayoría de la población depende de los ingresos derivados del trabajo en esta actividad para su subsistencia. Asimismo, la producción agropecuaria proporciona materias primas para la industrialización y los ingredientes básicos que la humanidad necesita para alimentarse.

Por otra parte, el desarrollo agropecuario requiere de infraestructuras como carreteras, ferrocarriles, plantas de acopio y procesamiento, depósitos, centros comerciales, entre otras, que dinamizan las economías nacionales, generan crecimiento económico y expansión de otros mercados para productos y actividades no agrícolas, de esta forma, se diversifica la base económica rural.

La actividad agropecuaria integra el sector primario de la economía, dado que obtiene materias primas a partir de recursos naturales, e incluye la agricultura, la ganadería, la apicultura, la acuicultura, la pesca, la silvicultura y la producción forestal que tienen como destino el consumo o a la industria. La agroindustria es la actividad económica que comprende la industrialización y comercialización de los productos del sector agropecuario y tiene la tarea de agregar valor a los productos generados en el sector primario. En este contexto, tanto la institucionalidad pública como el sector privado vinculados a la actividad agropecuaria son pilares fundamentales para asegurar el aumento de la producción, del valor agregado, de las exportaciones y del empleo, con su consiguiente impacto positivo en la distribución del ingreso, la seguridad alimentaria y la equidad social.





En la mayoría de los países de América Latina y el Caribe (ALC), la agricultura es el sector económico más importante, es así como, tiene un rol estratégico en el desarrollo sostenible y en la generación de exportaciones. En 2019, la participación de la agricultura primaria en el producto interno bruto (PIB) del continente fue en promedio 4.7 %, con variaciones que van desde poco más de 2 % en Panamá hasta más de 15 % en Haití. Sin embargo, si se toman en cuenta los efectos multiplicadores de la agricultura primaria en los sistemas alimentarios y en el resto de la economía, la participación podría duplicarse, como el caso de México (IICA,2021a).

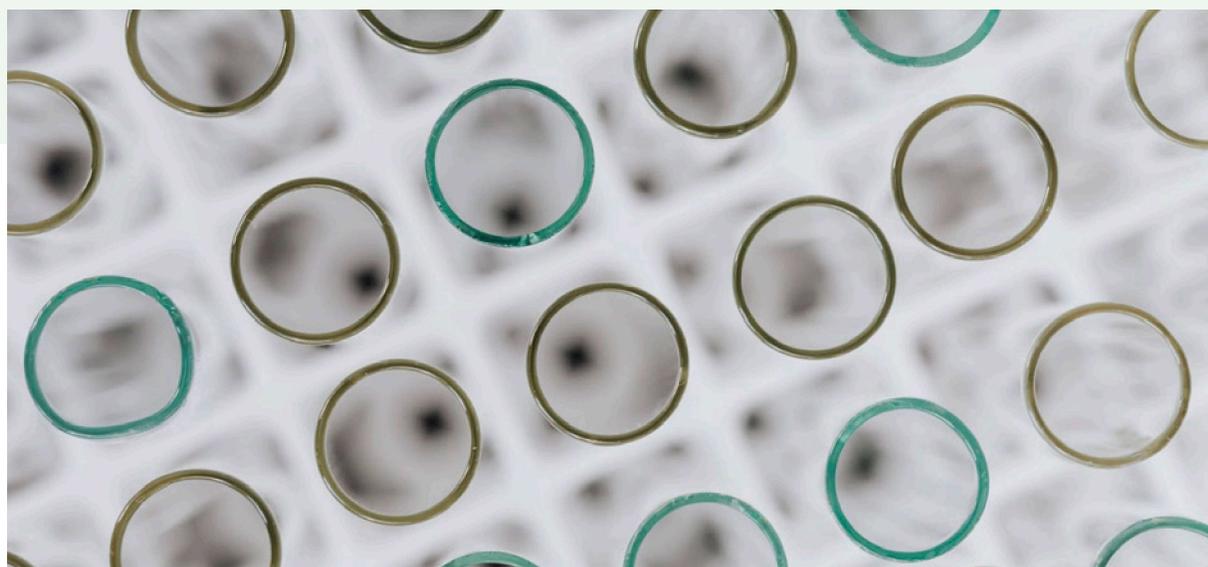
En 2021, el 16 % de las exportaciones de productos agroalimentarios del mundo procedió de ALC y representó la cuarta parte de las exportaciones totales de la región. Si se consideran, además, las exportaciones de los Estados Unidos y Canadá, las Américas durante igual período representaron el 29 % de las exportaciones de productos agroalimentarios en el mundo. Asimismo, la región incluye algunos de los principales países productores y exportadores netos de alimentos, proveedores claves de “despensas” para el mundos (Arias et al. 2020, como se citó en IICA, 2021a), según el índice de exportaciones netas per cápita de alimentos, entre ellos se destacan: Argentina, Brasil, Chile, Costa Rica, Ecuador, Paraguay y Uruguay. Es así que, en 2020 los principales países exportadores de productos agroalimentarios de la región y mundiales fueron Brasil, con 35.4 % y 5.6 %, respectivamente; Argentina con participaciones del 17.3 % y 2.7 %, respectivamente; y México con cuotas del mercado del 15.8 % y 2.5 %, respectivamente. El aumento en la producción y en las exportaciones de los últimos años convirtió a la región en el mayor exportador neto de alimentos del mundo, confirmando su rol estratégico en la seguridad alimentaria mundial (IICA, 2021b).

Asimismo, ALC es una región estratégicamente favorecida en términos de su dotación de recursos de naturaleza biológica: cuenta con el 50 % de la biodiversidad conocida, el 22 % del agua fresca, el 16 % de los recursos de agua marina, el 23 % de los bosques y el 57 % de los bosques primarios del total de los recursos mundiales. Recibe el 29 % de las precipitaciones y tiene el 31 % de los recursos de agua dulce del planeta. Además, ALC es la región en desarrollo con mayor proporción de tierra disponible per cápita apta para incorporar a las actividades productivas. Estos recursos se presentan como una gran oportunidad; sin embargo, también suponen importantes responsabilidades de conservación y sostenibilidad (Comisión Económica para América Latina y el Caribe -CEPAL-, FAO e IICA, 2020).

En este contexto, los países del CAS se posicionan dentro de una de las regiones más ricas del mundo en recursos naturales, la principal zona productora y exportadora de alimentos y la mayor proveedora de servicios ecosistémicos. Este escenario define el potencial de la región de ser reconocida como líder en el desarrollo, producción, comercialización y exportación de productos de alto valor agregado derivados del uso sostenible de su biodiversidad, con un rol fundamental en la sostenibilidad ambiental y en la mitigación de los efectos del cambio climático a escala mundial.

Del Anuario de Comercio Exterior de los países del CAS 2017-2021 se desprende la importancia que tiene para la región el comercio de bienes de base agraria (primarios y agroindustriales), es así que, la balanza comercial se caracteriza por ser fuertemente positiva para todos los países de la región. Incluso, luego de la crisis desatada por la pandemia del COVID-19, los datos para el año 2021, confirmaron la importancia del sector agroalimentario que se destacó por su rol esencial y resiliente con un crecimiento generalizado de las exportaciones de bienes de base agraria en todos los países del CAS (CAS-IICA, 2022).

Los países del CAS tienen un papel muy importante como abastecedores mundiales de alimentos y productos agroindustriales para garantizar la seguridad alimentaria. En tal sentido, el 4 de mayo de 2021, reconociendo el desafío que afrontan los países de la región los ministros del CAS firmaron una declaración de "Principios y valores de la región para la producción de alimentos en el marco del desarrollo sostenible", en la que coinciden en la importancia de promover una mirada que reivindique la sostenibilidad de los sistemas productivos latinoamericanos y los objetivos prioritarios para la región. En tal sentido, han construido en conjunto una estrategia regional para concretar acuerdos y mecanismos globales en el marco del desarrollo sostenible.



## 03.

# La Agenda 2030 para el desarrollo sostenible y el rol del sector agropecuario

---

El mundo se enfrenta a enormes desafíos para erradicar el hambre, mejorar la nutrición, reducir las pérdidas y el desperdicio de alimentos y encontrar nuevas formas de aumentar de manera sostenible la producción agrícola preservando y mejorando los servicios ecosistémicos y la biodiversidad.

En setiembre de 2015, líderes y lideresas de los 193 países miembros de las Naciones Unidas adoptaron formalmente la Agenda 2030, la cual cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas para poner fin a la pobreza global y al hambre para 2030. Los ODS tienen como objetivo abordar los problemas interrelacionados de la desigualdad, el hambre, el cambio climático, la degradación ambiental, la prosperidad, la paz y la justicia. Esta iniciativa, que instala la vinculación de la sostenibilidad ambiental con la inclusión social y la atención de las necesidades de los más vulnerables, entró en vigor en enero del 2016.

El cumplimiento de esta agenda se basa en políticas, planes y programas de desarrollo sostenible llevados adelante por los países. A su vez, el logro de muchos de estos objetivos depende de la capacidad de contar con un sistema productivo sostenible y climáticamente inteligente donde el sector agropecuario tiene un rol clave para abastecer a la población en crecimiento con alimentos nutritivos, seguros y sanos.

Por su parte, el Banco Mundial (BM) examinó las formas de mejorar la productividad y la resiliencia del sistema alimentario y hacer que la agricultura sea parte de la solución al cambio climático. El informe de la institución sobre la agricultura climáticamente inteligente recomienda implementar prácticas agrícolas y de producción de alimentos que impulsen la productividad, mejoren la resiliencia y reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero.





Para avanzar hacia el cumplimiento de los ODS y atender la creciente demanda de alimentos, fibras y materiales se requieren esfuerzos concertados y alianzas sólidas de los gobiernos, inversores y diversos actores de la cadena productiva para incentivar la innovación y asegurar el acceso a nuevas tecnologías. Las políticas agrarias y ambientales como los programas de investigación deben estar alineados con la Agenda 2030. Es así que, mediante el ajuste de las prioridades nacionales a la Agenda y trabajando en colaboración con el sector privado y la sociedad civil, los gobiernos deben movilizar esfuerzos con miras a poner fin a la pobreza, reducir las desigualdades y hacer frente al cambio climático en 2030. Simultáneamente, requiere de una alianza mundial tanto para apoyar las iniciativas nacionales como para satisfacer la necesidad global de alcanzar el desarrollo a favor de todas las personas, en ese sentido, es clave la cooperación internacional para fomentar y asegurar el acceso a la ciencia, la tecnología y la innovación (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO, por su sigla en inglés - 2022).

El informe sobre el progreso de la agenda a 2022, presentado por Naciones Unidas, proporciona evidencia de los impactos negativos de la pandemia de COVID-19 y el conflicto bélico entre Ucrania y Rusia. Los efectos adversos sobre los sistemas alimentarios y la salud, la crisis humanitaria y energética, sumado a la emergencia climática, tienen como consecuencia la ralentización del logro de los ODS. En este contexto, se requiere una acción audaz de las naciones en la que la participación del sector agropecuario, la ciencia y la tecnología tienen un enorme potencial. En América Latina y en particular en los países de la región del CAS existe consenso en la necesidad de profundizar las políticas de cooperación e integración entre los actores claves del sector agropecuario fomentando la innovación y el desarrollo sostenible.

## 04.

# La adopción de nuevas tecnologías en la sostenibilidad de la producción agropecuaria

---

El crecimiento del sector agropecuario juega un rol fundamental en la estrategia de erradicación de la pobreza y en la transición hacia economías más urbanizadas (Bula Alfredo, 2020). Cuando las economías crecen, se generan mercados para productos y actividades no agrícolas y de esta forma, se diversifica la base económica del medio rural. Sin embargo, el crecimiento sostenido de la población y de la demanda mundial de alimentos y de materias primas, impulsa la transformación de los sistemas alimentarios y agrícolas, haciendo que estos se expandan e intensifiquen, trayendo consigo desafíos claros a los agroecosistemas y la necesidad de adoptar patrones de producción más sostenibles y resilientes frente al cambio climático. Por otra parte, los cambios en los patrones de demanda, tanto de parte de los consumidores finales como de los productores de la cadena agroindustrial y comercializadora, hacen que el proceso productivo, para mejorar su competitividad necesariamente deba adoptar nuevas tecnologías.

La ciencia y la tecnología pueden desempeñar un papel importante en la provisión de soluciones al cumplimiento de la Agenda 2030 y los ODS. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por su sigla en inglés), la adopción de tecnologías y prácticas innovadoras por parte de los agricultores constituye un factor esencial y necesario para impulsar la productividad agrícola y producir más y mejores alimentos haciendo un uso y gestión eficiente, sostenible y equitativa de los recursos naturales, elevar así los ingresos y, en consecuencia, contribuir en la estrategia de erradicar la pobreza.

En este contexto, el desarrollo de la bioeconomía como paradigma de desarrollo sustentable es sumamente atractivo para algunos países miembros del CAS que cuentan con políticas en esta materia. La bioeconomía se basa en el uso de recursos renovables, insumos y procesos de base biológica, además de herramientas como las que brinda la biotecnología. Su fomento, junto a los avances en ciencia y tecnología en el ámbito de la producción agropecuaria y agroindustrial, puede contribuir al desarrollo regional, agregar valor, calificar el empleo, innovar en el uso de tecnología, impulsar la producción y las exportaciones y mejorar la competitividad genuina a nivel local, así como en la generación neta de divisas.

---



Las biotecnologías, como uno de los motores de la revolución agrícola, en sinergia con innovaciones en nutrición animal y vegetal, siembra directa, tecnologías de protección vegetal y buenas prácticas agrícolas, ofrece un marco de inmensas posibilidades para enfrentar los desafíos de la seguridad alimentaria y reducción de la pobreza de forma amigable con el ambiente mejorando la calidad y la producción de plantas, animales, alimentos, combustibles no fósiles y nuevas materias primas.

Por otra parte, la transformación digital de la agricultura (Agricultura 4.0) a través de la operación de plataformas digitales, big data, sensores, drones, inteligencia artificial, Internet de las cosas (IoT), robots, computación en la nube y blockchain (OECD 2018; Santos Valle, S. y Kienzle, J. 2020), puede hacer una gran contribución al logro de sistemas agroalimentarios sostenibles e inclusivos. Las tecnologías digitales permiten mejorar la conectividad e integración de los distintos actores de la cadena agropecuaria, habilitan la generación y el procesamiento eficiente de grandes volúmenes de información e indicaciones que permiten el monitoreo, el análisis, la planificación y el control inteligente de procesos de producción, uso de recursos naturales, control de plagas, transformación, distribución y comercialización de productos agrícolas.

La FAO y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), han resaltado en repetidas ocasiones el valor de la biotecnología y que, integrada con otras tecnologías para la producción de alimentos, productos y servicios agrícolas, constituye un recurso importante y necesario para satisfacer, de forma segura y sostenible, las necesidades de una población en expansión y cada vez más urbanizada. Asimismo, la FAO apoya enfoques innovadores centrados en abordar los desafíos derivados del cambio climático y la pérdida de biodiversidad para alcanzar los ODS con el enfoque de la bioeconomía sostenible y circular que promueva el uso sostenible de recursos biológicos para mejorar la producción, la nutrición, el medio ambiente y la calidad de vida.

En apoyo al desarrollo y adopción de biotecnologías ligadas al sector agrícola, en marzo de 2022 los ministros de Agricultura de Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay declararon que conforme a la Agenda 2030, trabajarán para avanzar en medios de implementación efectivos, así como propiciar mecanismos de financiamiento adecuados, inversiones en nuevas tecnologías e innovaciones orientadas a incrementar la productividad de forma sostenible para obtener alimentos inocuos y de calidad, favoreciendo la transferencia de tecnología y la creación de capacidades.



## 05.

# Alcances de la biotecnología y el avance de la ciencia y la tecnología

---

De acuerdo con la definición dada por el Convenio sobre la Diversidad Biológica (NU,1992), la biotecnología es: "cualquier aplicación tecnológica que utiliza, sistemas biológicos, organismos vivos o derivados de los mismos, para fabricar o modificar productos o procesos para un uso específico". Así, la biotecnología incluye una amplia gama de tecnologías aplicadas a la agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, acuicultura, agroindustria, industria energética, farmacéutica, y ambiente. En este sentido, estas tecnologías son utilizadas para la caracterización, conservación y utilización de los recursos genéticos. Se aplican en la alimentación y la agricultura para el mejoramiento genético de plantas y animales para aumentar sus rendimientos o la eficiencia en el uso de insumos; en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades que afectan a humanos, plantas y animales para el desarrollo de vacunas y en la producción de alimentos fermentados o de mejor calidad o más nutritivos; en la producción de biomateriales, bioinsumos y bioenergía, entre otros. La investigación y el desarrollo de la biotecnología combina disciplinas como la genética, la biología molecular, la bioquímica, la embriología y la biología celular.

La biotecnología tradicional es tan antigua como la humanidad y tiene una larga historia de uso como biotecnología tradicional en la obtención y utilización de los productos del metabolismo de ciertos microorganismos para la fabricación de alimentos y bebidas como pan, queso, vino, cerveza y yogurt. Aunque en los inicios de la biotecnología los hombres no entendían cómo ocurrían estos procesos, ni conocían la existencia de microorganismos, podían utilizarlos para su beneficio.

De igual manera, la biotecnología constituye una herramienta ampliamente usada desde hace muchos años en la mejora de los cultivos y animales. En el pasado, los agricultores no poseían ningún conocimiento de genética y eran completamente ajenos a lo que es la variabilidad genética o lo que supone una mutación. Sin embargo, fueron seleccionando mutantes mediante el filtro selectivo de alguna característica deseada (tamaño, color, sabor, etc.). Con el avance del conocimiento las técnicas fueron perfeccionándose y surgieron nuevas tecnologías de mejoramiento y todas ellas fueron incluyéndose en los programas de mejoramiento vegetal y animal hasta llegar, en la década del 1970, a la biotecnología moderna basada en la utilización de técnicas denominadas en su conjunto como ingeniería genética. La ingeniería genética permite modificar y transferir genes de un organismo a otro para mejorar u obtener nuevos o mejores productos de plantas, animales o microorganismos.

En los últimos años, con una aceleración en los avances en ciencia y tecnología, capacidades institucionales y humanas e infraestructura en el campo de la secuenciación de genes, en la bioinformática y computación, se logró generar una enorme cantidad de información relacionada a la biología molecular y genómica y mejorar el entendimiento de procesos biológicos. Esto dio lugar a mejoras en las tecnologías usadas hasta el momento así como también al desarrollo de nuevas tecnologías aplicables al mejoramiento de organismos, llegando a las técnicas de edición génica, entre otras.

## 06.

# La biotecnología tradicional y su contribución a la agricultura y producción de alimentos

---

El mejoramiento de los cultivos comenzó con las primeras poblaciones de agricultores hace 10.000 años mediante la selección deliberada de las plantas que presentaban mejores características en función de las necesidades, un proceso conocido como domesticación.

La variabilidad entre plantas y sobre la que se basa la selección es consecuencia de cambios genéticos ocurridos a lo largo de los años a través de procesos naturales de recombinación genética y mutaciones que han definido los procesos de evolución y diversidad genética de las especies vegetales. El hombre, como testigo de dichos procesos naturales ha aprendido a seleccionar de forma artificial aquellas plantas con características interesantes, asimismo, con el avance del conocimiento en biología, química y genética también fue capaz de desarrollar y perfeccionar métodos de mejoramiento vegetal. Estos métodos se basan en el cruzamiento entre individuos de igual especie, pero que muestran características diferentes, y una posterior selección de los ejemplares que presentan las características deseadas. Luego de repetidos procesos de mejoramiento por cruzamiento y selección artificial se logra obtener una variedad final con la incorporación de genes para los rasgos deseados y la eliminación de aquellos relacionados con las características no deseadas.

Es así que, los cultivos que sembramos en la actualidad son muy diferentes de los antepasados silvestres que les dieron origen. Un claro ejemplo de ello es el proceso de evolución del maíz desde su antecesor, el teosinte, al maíz moderno. En las figuras 2 (a-d) se muestran las diferencias ocurridas entre ambos en la estructura de la planta y en el tamaño y morfología de las espigas. En principio dichos cambios surgieron como resultado de un proceso de sucesivas modificaciones genéticas y selección natural y posterior domesticación realizada por los agricultores al elegir granos de plantas que habían crecido más o granos que eran más grandes o de mejor sabor o más fáciles de moler y, a su vez, guardaban parte de esas semillas para la siembra de la próxima campaña.

Con el tiempo las mazorcas de maíz se hicieron más grandes, con espigas de mayor tamaño y más cantidad de granos tomando la forma del maíz que hoy conocemos. A consecuencia de este proceso, se observan cambios beneficiosos que ocurrieron y se seleccionaron en el maíz, entre otros se destacan variaciones en: tipos y cantidades de producción de almidón, capacidad para crecer en diferentes climas y tipos de suelo, longitud y número de filas de la espiga, tamaño, forma y color de la espiga, resistencia a las plagas.



## FIGURA 2: COMPARACIÓN ENTRE EL MAÍZ ACTUAL Y EL TEOSINTE



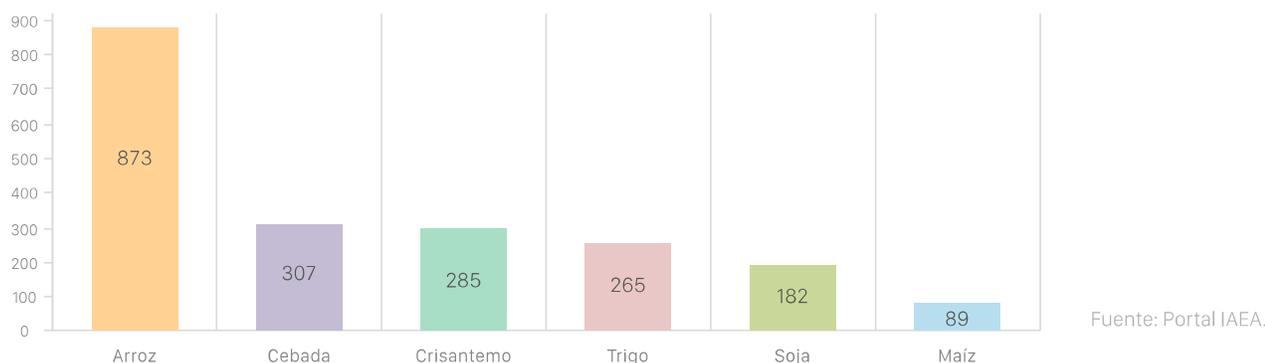
a- Planta y espiga del teosinte (izquierda). Planta y espiga del maíz actual (derecha), b- Espigas de teosinte a la izquierda, maíz a la derecha y al centro el híbrido producto del cruzamiento. Fuente: foto de John Doebley. c- El teosinte (izquierda), produce hasta una docena de granos. Las mazorcas de maíz moderno (derecha), producen cientos de granos. d- Los granos de maíz de Teosinte (izquierda) contrastan fuertemente con el grano producido por el maíz moderno (derecha).

El proceso de mejoramiento a través de cruzamiento y selección artificial constituye un método convencional que ha sido y continúa siendo muy útil en la agricultura y ha originado numerosas variedades que se cultivan hoy en día. Sin embargo, si la variabilidad genética disponible no es suficiente para cubrir las características buscadas, es necesario recurrir a diferentes tecnologías que permitan enriquecer la base de variabilidad sobre la que se ejerce la selección antrópica. Esta necesidad de mayor variabilidad junto al avance en el conocimiento impulsó el despliegue de tecnologías cada vez más sofisticadas que van desde la mutagénesis inducida y el cultivo de tejidos hasta la selección de rasgos robotizada y totalmente automatizada basada en análisis moleculares.

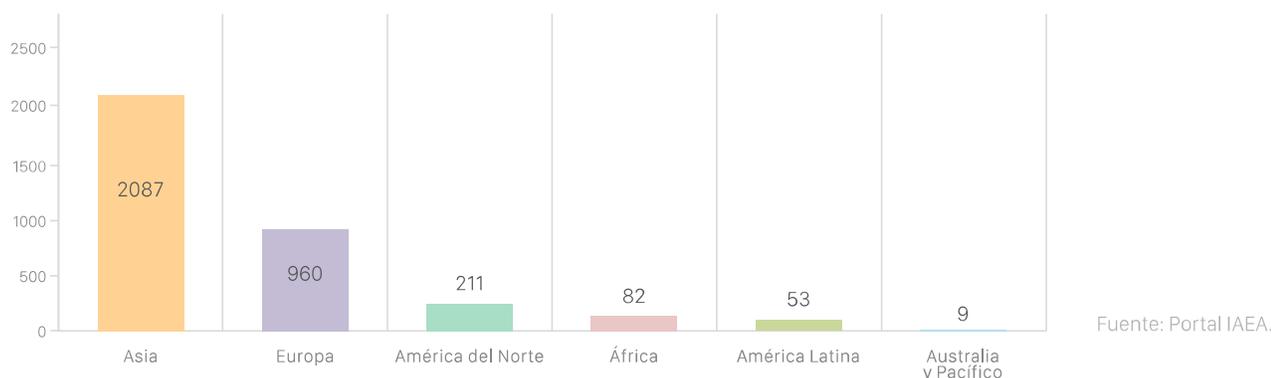
Desde fines de la década de 1920 los fitomejoradores descubrieron que se podrían incrementar las mutaciones (cambios en el ADN que ocurren naturalmente) exponiendo a las plantas a agentes mutágenos físicos como los rayos X o gamma, o químicos como etilmetanosulfonato o azida sódica, entre otros. Mediante esta técnica conocida como mutagénesis inducida, se generan cambios al azar en el genoma de los individuos dando lugar a nuevas características. Posteriormente, se seleccionan los individuos que presenten las características deseadas, con lo que se imita el proceso de mutaciones espontáneas naturales y se amplía artificialmente la diversidad genética.

Así más de 3300 variedades vegetales en el mundo entre las que se incluyen de consumo humano variedades de trigo, cebada, maíz, maní, avena, arroz, soja, poroto, papa, lechuga, rosa, algodón, zapallo, tabaco, cítricos, cebolla, cereza, crisantemo, manzana y vid, fueron mejoradas por mutagénesis. Dichas variedades se dicen que son mutantes por el tipo de tecnología usada para generar cambios en el ADN vegetal. El objetivo es obtener variedades con diferentes características que determinan grandes beneficios económicos como por ejemplo: mayor resistencia a enfermedades, mejor calidad de fruto o grano, mayor rendimiento y adaptabilidad a diferentes climas y suelos entre otras características con grandes beneficios económicos. A modo de ejemplo, según la base de variedades mutantes de la FAO y el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA, por su sigla en inglés), existen 873 variedades de arroz mutante (figura 3). Asia es la región que más variedades mutantes ha generado llegando a 2087 registros (figura 4) según FAO-IAEA. Asimismo, en lo que respecta a Latinoamérica, se han desarrollado e inscrito 53 variedades de las cuales 26 corresponden a países del CAS, más precisamente por Argentina, Chile y Brasil.

**FIGURA 3: CULTIVOS MODIFICADOS POR MUTAGÉNESIS**



**FIGURA 4: VARIEDADES MUTANTES POR REGIÓN**



Otra de las técnicas usadas para generar variación es la que permite realizar cruzamientos interespecíficos (entre especies) o intergenéricos (entre diferentes géneros) a través de los cuales se producen híbridos que son la mezcla entre dos especies o géneros diferentes, pero sexualmente compatibles, que da como resultado una descendencia diferente de los progenitores con una combinación de genes al azar. Un ejemplo de cruzamiento interespecífico es la frutilla. *Fragaria chiloensis*, especie nativa de Chile, es un fruto grande, pero no muy sabroso comparado con *Fragaria virginiana*, que es más pequeña y lábil, pero mucho más sabrosa. Ambas especies se cruzaron y se obtuvo la variante que hoy en día se cultiva en todo el mundo conocida como *Fragaria ananassa*.

A comienzos de la década de 1960 surgen técnicas como el cultivo de células y tejidos vegetales in vitro, la micropropagación, la criopreservación, las técnicas de rescate embrionario, las inducciones de mutaciones, la hibridación, variación somaclonal, doble haploides y fertilización in vitro. Estas técnicas permitieron la multiplicación a gran escala de clones vegetales, conservación de germoplasma, así como generar mayor variabilidad genética y obtener nuevas variedades.

El progreso de las técnicas de mejoramiento vegetal junto con los cambios en los métodos de cultivo, la mecanización, el uso de fertilizantes o defensivos agrícolas y la irrigación fueron los factores que desencadenaron la Revolución Verde a mediados del siglo XX, entre 1960 y 1980, así conocida por el destacable incremento de la productividad agrícola.

Si bien las técnicas de mejora y multiplicación vegetal descritas hasta aquí constituyen técnicas de biotecnología tradicional o convencional, estas han sido actualizadas y aplicadas en los programas de mejoramiento de cultivos en todo el mundo y hoy día se encuentran integradas junto a las técnicas de biotecnología moderna como herramientas complementarias. A nivel de los países del CAS existen numerosas instituciones públicas y privadas que trabajan en proyectos de mejoramiento vegetal generando nuevas y mejores variedades adaptadas a las distintas regiones y sus características.

En el ámbito de producción animal las biotecnologías convencionales, como la inseminación artificial, la transferencia de embriones y la fertilización in vitro, se siguen utilizando ampliamente en las principales especies y razas animales y han sido mejoradas y complementadas con grandes beneficios por la biotecnología moderna.



## 07.

# La biotecnología moderna

---

En la década de 1970 y en línea con la necesidad de ampliar la base de diversidad genética para incrementar la producción agropecuaria y de alimentos se sumó la biotecnología moderna como una herramienta complementaria para mejorar o modificar los cultivos vegetales, animales o microorganismos con beneficios para el ser humano, otros animales y el medioambiente.

Las técnicas de la biotecnología moderna, o técnicas de ADN recombinante, también conocidas como ingeniería genética, permiten la modificación de la composición genética de un organismo mediante lo que se conoce como transgénesis. Con esta técnica es posible aislar un gen de un organismo para su posterior inserción en el genoma de otro organismo diferente sin reproducción sexual. De esta manera podemos hacer que un organismo produzca una proteína o exprese una característica que a través de técnicas de mejoramiento convencional no sería posible. El gen que se transfiere de un organismo a otro es conocido como transgen, por ser transferido de un organismo a otro mediante transgénesis. De esta forma es posible, por ejemplo, obtener un cultivo que produzca una proteína o una vitamina que antes no producía. Tal como se define en el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica, la biotecnología moderna se refiere a la aplicación de "técnicas de ácido nucleico in vitro", incluyendo las "técnicas de ADN recombinante (ADN)" y la inyección directa de ácido nucleico en células u orgánulos, o "fusión de células" más allá de la familia taxonómica, mediante las cuales la composición genética de los organismos vivos se modifica, superando las barreras fisiológicas naturales reproductivas o de recombinación y que de otro modo impedirían dichas modificaciones dando lugar a organismos genéticamente modificados.





Para garantizar la seguridad de los OGM para el ambiente y para su consumo, se ha establecido a nivel global que los OGM deben ser evaluados y autorizados previamente a ser comercializados, cultivados y consumidos. Es por ello que los países cuentan con oficinas regulatorias, marcos regulatorios y criterios de evaluación de riesgo basados, tal como es universalmente aceptado, en principios, métodos científico-técnicos y recomendaciones de organismos internacionales como la Organización Mundial para la Salud (OMS), la FAO, el Codex Alimentarius y la OECD. Dichos criterios de análisis aplican el enfoque comparativo y la evaluación caso por caso, familiaridad e historial del uso seguro que permitan asegurar que el OGM es tan seguro para el ambiente e inocuo para la salud humana y animal como su homólogo o contraparte convencional (no OGM).

Así, la biotecnología moderna ofrece una enorme ventaja respecto a las técnicas tradicionales de mejoramiento al posibilitar la incorporación de nuevas características de forma más precisa, transfiriendo genes que pueden provenir de cualquier especie, emparentada o no, incluso de diferentes reinos (por ejemplo, un gen de una bacteria puede incorporarse al genoma de la soja).

El caso de arroz dorado es un ejemplo de gran importancia, este arroz fue modificado genéticamente obtenido por ingeniería genética que produce provitamina A ( $\beta$ -caroteno) en el grano, algo que no sucede en las plantas de arroz convencionales. Está demostrado que la deficiencia de vitamina A afecta severamente el sistema inmunológico, y que es la causa de diferentes enfermedades y en particular de ceguera y muerte infantil. Según datos de la OMS, la deficiencia en vitamina A por una dieta pobre, causa la ceguera de entre 250.000 y 500.000 niños cada año, más de la mitad de los niños que pierden su vista mueren dentro del año de quedar ciegos (PQBIO,2006). Por ello, y considerando que el arroz es un alimento base y que carece de vitamina A, el uso de técnicas como las de biotecnología moderna resultan en beneficios para la alimentación con alto impacto social.

Por otro lado, así como es posible incorporar un gen nuevo al genoma de un organismo con ingeniería genética también es posible modificar la información genética al modificar un gen propio de un organismo ya sea para aumentar la expresión de una característica o para inhibir dicha característica. En este caso se dice que la expresión de un propio gen se silencia o se realiza silenciamiento génico. Un ejemplo es un maní hipoalergénico en el que la expresión de alérgenos propios del maní es disminuida. En resumen, con el uso de ingeniería genética, de una manera más rápida y precisa, es posible incorporar características que no existen en una determinada especie o simplemente inhibir la expresión de sustancias tóxicas o alergénicas que los cultivos producen naturalmente convirtiéndolos en más saludables, en muchos casos de una manera más rápida y precisa que utilizando mejoramiento convencional. En este contexto los proyectos que analizan los genomas son una herramienta fundamental, al permitir identificar rápidamente a los genes de interés y su posible aplicación.

## 7.1

# La biotecnología moderna

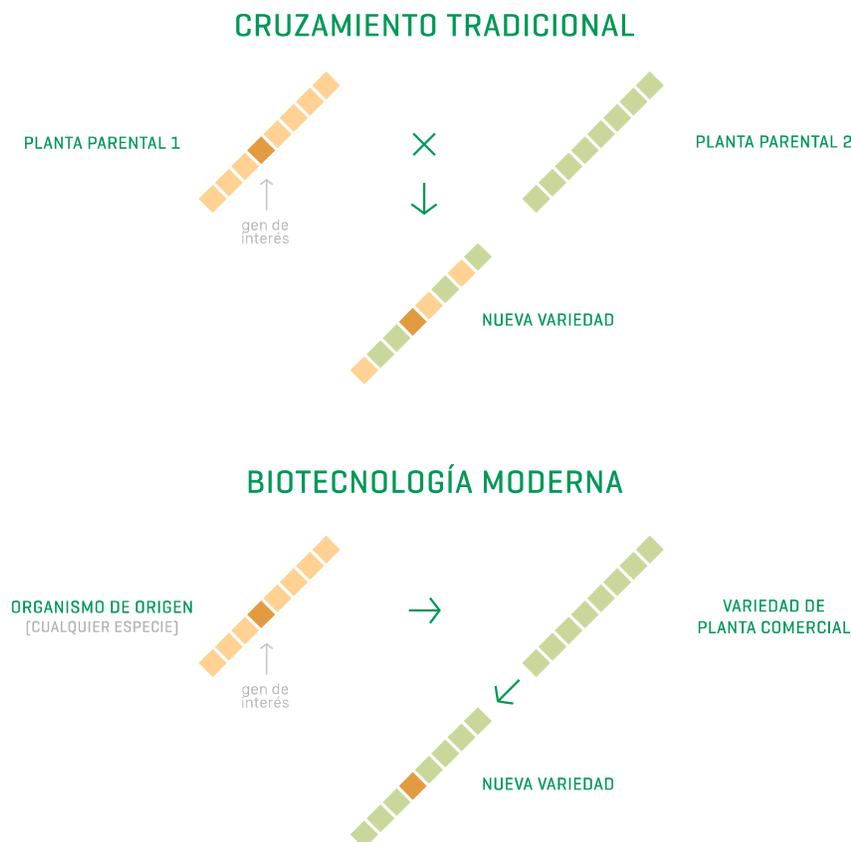
La biotecnología moderna con la ingeniería genética se suma a las prácticas convencionales como una herramienta más precisa para mejorar o modificar los cultivos vegetales.

Igualmente existe una diferencia entre una planta obtenida por técnicas convencionales de cruzamiento sexual y selección y otra obtenida usando ingeniería genética: en el primer caso, la planta (descendencia) obtenida tiene una combinación genética al azar de los progenitores, es decir que la variabilidad genética se ha logrado por una combinación al azar de las características de los progenitores y el potencial de obtener variabilidad está limitado por la dotación de genes (y características) de los progenitores que se cruzan para dar descendencia; en contraste, cuando se usa ingeniería genética, es posible transferir genes que codifican una característica específica conocida entre especies diferentes, permitiendo introducir características que no existen en una determinada especie o, también es posible inhibir la expresión de genes propios de la especie a mejorar que codifican sustancias tóxicas o alergénicas. Esta modificación por ingeniería genética permite entonces ampliar la variabilidad genética que por cruzamiento sexual no puede obtenerse y de una manera más rápida y precisa.

La transferencia de genes (ADN) a células o tejidos vegetales puede realizarse a través de distintas técnicas siendo las más conocidas el uso de *agrobacterium tumefaciens* o virus vegetales (métodos basados en la utilización de un vector biológico que participa del proceso de transferencia) y la biobalística o bombardeo de micropartículas, (método que consiste en la transferencia directa de ADN).

**FIGURA 5: DIFERENCIA ENTRE UN CRUZAMIENTO SEXUAL Y BIOTECNOLOGÍA MODERNA (INGENIERÍA GENÉTICA)**

Fuente: Argenbio.



Asimismo, vale aclarar que el proceso de modificación genética por ingeniería genética es un proceso que se realiza en el genoma de una célula y que luego de obtener esa célula modificada es necesario regenerar una planta a partir de dicha célula a través de la técnica de cultivo de tejidos. Es decir que, la ingeniería genética permite aumentar la variabilidad genética introduciendo una o unas pocas características a partir de la modificación del genoma de una célula, pero no permite obtener una planta completa, sino que para lograrlo se utiliza primero la técnica de cultivo de tejidos. La planta así obtenida se llama planta o cultivo transgénico o genéticamente modificado (GM) o transgénico y porta el evento o evento de transformación. Por su parte, un evento de transformación es la recombinación o inserción particular de ADN ocurrida en una célula vegetal a partir de la cual se originó la planta transgénica. Los eventos de transformación son únicos, y difieren en los genes insertados, el lugar donde ese evento se insertó en el genoma vegetal (sitio de inserción), el número de copias insertadas, los patrones y niveles de expresión de las proteínas de interés, etc. Los eventos pueden además acumularse por cruzamiento convencional y dar origen a una planta con “acumulación o combinación de eventos” para obtener fácilmente plantas con varias características combinadas.

La planta transgénica, una vez obtenida, es caracterizada y multiplicada durante varias generaciones y cruzada sexualmente con distintas variedades de la misma especie y seleccionada con asistencia de marcadores moleculares para obtener variedades adaptadas a distintas geografías y que contengan la modificación introducida por ingeniería genética. Por lo tanto, al concluir todo el proceso, las variedades finales tendrán una combinación de las diferentes características que vienen de los progenitores usados en los cruzamientos sexuales (fondo genético) más una o unas pocas características que provienen del uso de ingeniería genética (transgenes).

Entre las aplicaciones de la biotecnología moderna en los cultivos y las posibles características a obtener a través de las modificaciones genéticas podemos enumerar las siguientes:

- ➔ Resistencia a estrés biótico como plagas y enfermedades (insectos, virus, bacterias u hongos).
- ➔ Resistencia a estrés abiótico como sequías, altas o bajas temperaturas, heladas, salinidad o presencia de metales pesados.
- ➔ Modificación de características morfológicas (tamaño del grano, altura de la planta, etc.).
- ➔ Tolerancia a herbicidas (soja, maíz, colza y alfalfa).
- ➔ Maduración retardada.
- ➔ Mayor producción de biomasa.
- ➔ Cambios en las propiedades de las plantas para fitorremediación (remediación de aguas o suelos contaminados).
- ➔ Cambios en las características decorativas de las plantas (calidad de césped, color y mayor duración de las flores, etc.).
- ➔ Mayor rendimiento y productividad.
- ➔ Alimentos hipoalergénicos (p. ej. maní o soja).
- ➔ Contenido en vitaminas, minerales, ácidos grasos, aceites o proteínas que no posea el organismo sin modificar (p. ej. arroz con niveles aumentados de pro-vitamina A).
- ➔ Producción de vacunas, medicamentos o anticuerpos.
- ➔ Producción de enzimas u otras moléculas de interés industrial (enzimas para digestión animal, enzimas para la producción de biocombustibles o menor contenido de lignina para elaboración de papel).
- ➔ Alimentos para animales más fáciles de digerir o con mayor contenido de aminoácidos esenciales.
- ➔ Modificación estructural de las plantas.

## 7.2

# Aplicación de la biotecnología moderna en animales

Los avances en biología molecular, secuenciación de genomas y bioinformática han determinado la evolución en las tecnologías aplicadas en animales. Por ejemplo, la genómica ha facilitado mejoras en la caracterización molecular de razas en casi todos los sistemas de producción y ha contribuido a la identificación de regiones genómicas asociadas tanto con rasgos de producción como con rasgos adaptativos como tolerancia al calor y resistencia a enfermedades.

En cuanto a la ingeniería genética, además de los beneficios para los cultivos agrícolas, también se aplica a animales como insectos, peces y ganado para abordar diferentes preocupaciones, como la propagación de enfermedades, la producción de alimentos y la contaminación ambiental. La modificación genética se realiza de dos maneras: anulando o modificando ciertos genes presentes en un animal de manera que esta modificación se transmita a la descendencia, o bien transfiriendo genes a un animal desde la misma especie o de una especie diferente.

La ingeniería genética permite modificar genéticamente a los animales con diferentes objetivos: ayudar en la identificación, aislamiento y caracterización de genes y secuencias importantes para la expresión génica; generar modelos de enfermedades que afectan a seres humanos, para el desarrollo de nuevas drogas y tratamientos; generar mejoras en producción animal como crecimiento más rápido o mayor tamaño de animales o mejor calidad de carne, como también el manejo de enfermedades para el bienestar animal o su potencial uso como fuente de tejidos y órganos para xenotrasplantes por la gran semejanza fisiológica y metabólica con los seres humanos o para producir moléculas de interés industrial.

Se conocen diferentes proyectos experimentales de mejoramiento animal por transgénesis en ovinos, equinos, caprinos, bovinos y peces. Entre los animales modificados por ingeniería genética que han sido aprobados en algunos países podemos mencionar:

### ➔ **Salmón *AquAdvantage*:**

Después de casi tres décadas desde su desarrollo, el primer pez genéticamente modificado en el mercado es el salmón *AquAdvantage*, desarrollado por la empresa *AquaBounty Technologies* para crecer el doble del tamaño respecto del salmón no transgénico durante igual periodo de crecimiento. Contiene un gen de la hormona del crecimiento del salmón Chinook.

### ➔ **Mosquitos *Friendly™ Aedes*:**

Se sabe que los mosquitos son vectores de enfermedades perjudiciales como la malaria, el dengue, el chikungunya y el zika. Dado que solo los mosquitos hembra pican, los científicos han ideado formas de combatir las enfermedades transmitidas por mosquitos al reducir significativamente el número de poblaciones femeninas. Así la empresa Oxitec ha desarrollado el mosquito *Friendly™ Aedes*. Los machos modificados genéticamente portan un gen que pasa a su descendencia y mata a la progenie femenina en las primeras etapas larvarias. La descendencia masculina no pica, se convierte en portadora del gen y lo transmite a las generaciones futuras. A medida que mueren más hembras, la población de *Aedes aegypti* debe disminuir. Fueron aprobados tres procesos de liberación comercial en Brasil en 2014, 2020 y 2021.

➔ **GloFish** (pez brillante):

Es un pez genéticamente modificado fluorescente inicialmente desarrollado para ayudar a detectar contaminantes ambientales. Para tales fines agregaron un gen de fluorescencia de origen natural a los peces para saber rápida y fácilmente cuándo una vía fluvial está contaminada. Debido a su atractivo por la luminiscencia este pez se vende desde 2003 también para acuarios. A la fecha, hay 12 líneas de GloFish en el mercado, incluidos tetras, peces cebra y púas, en colores como *Electric Green*, *Moonrise Pink* y *Cosmic Blue*.

## “Desarrollo y regulación del Xenotrasplante”

Hace más de 30 años que la humanidad busca una estrategia para paliar las reducidas tasas de donación de órganos para trasplante. Una alternativa es el xenotrasplante, entendiéndose este como el trasplante de órganos de animales a personas.

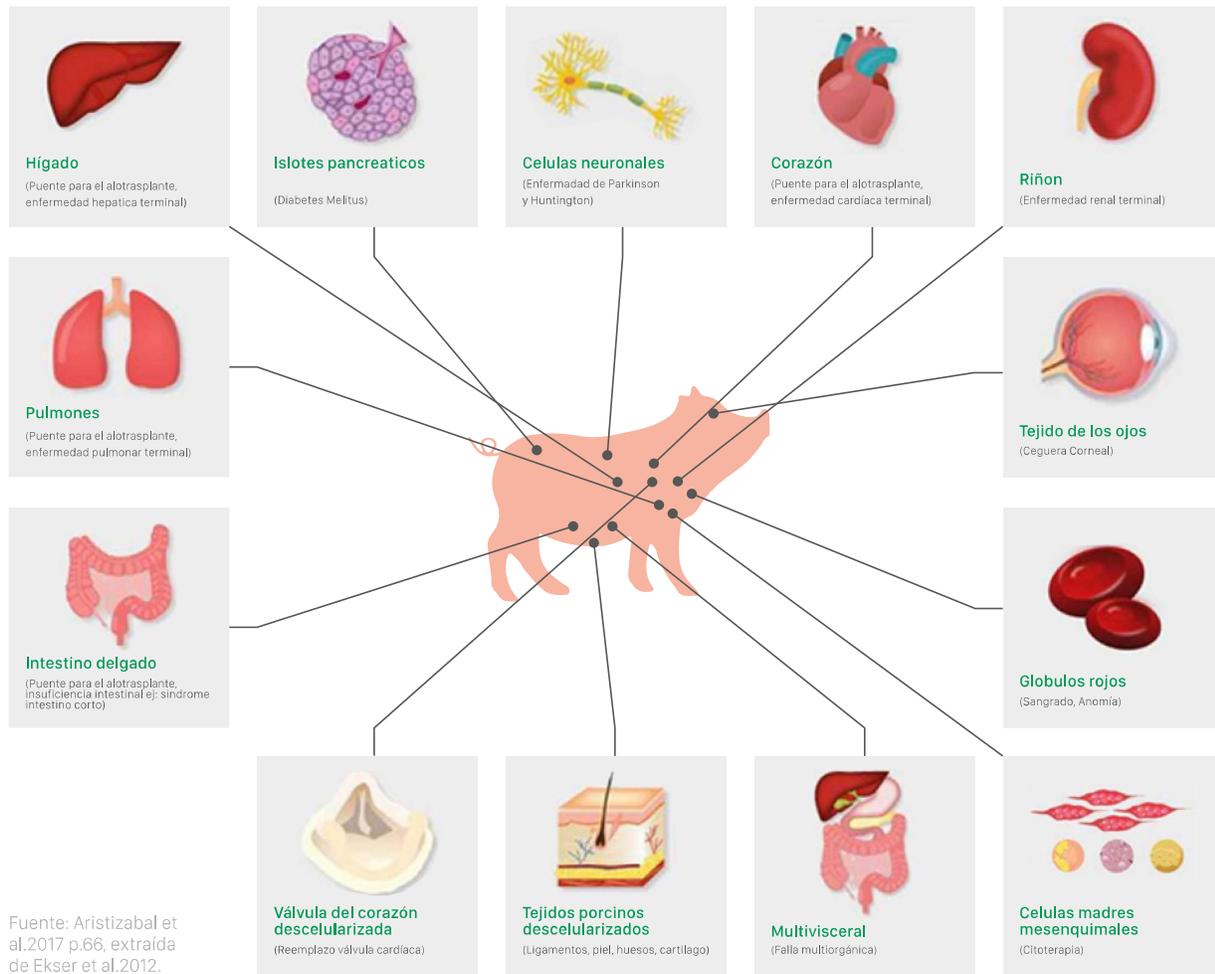
El uso de órganos provenientes del cerdo (animal candidato para xenotrasplante) ofrecería la posibilidad de obtener un gran número de órganos, tejidos y células para los trasplantes. Entre ellos se destacan: el corazón, los riñones, las células pancreáticas, etc.

A principios de 2021 en Estados Unidos se realizó el primer xenotrasplante exitoso de corazón de cerdo a humano. Este órgano fue obtenido de un cerdo con 10 modificaciones genéticas que impiden el rechazo inmunológico.

Si bien el xenotrasplante y el xenoimplante son avances biotecnológicos orientados a la salud humana, los mismos abarcan la generación y producción de cerdos genéticamente modificados, por lo que deben atenderse aspectos regulatorios específicos, por tanto, requieren del acompañamiento de un sistema regulatorio integral, interinstitucional y multidisciplinario con la participación del Estado a través de todos los organismos que intervienen en la temática.

Adelantándose a esta situación, en noviembre del 2020 en Argentina se impulsó la conformación de un espacio de trabajo interdisciplinario que busca tratar todos los aspectos referidos al xenotrasplante. En esta Mesa de Xenotrasplante se busca promover el desarrollo científico, tecnológico y productivo de empresas nacionales que generen cerdos GM para el xenotrasplante. Establecer la secuencia regulatoria implica ordenar los pasos que vinculen la generación y producción de los animales GM con ensayos pre-clínicos, clínicos y finalmente el trasplante a humanos (Portal Oficial República Argentina, s.f.). También Brasil está desarrollando la infraestructura necesaria para avanzar en xenotrasplante.

**FIGURA 6: ENFERMEDADES PARA LAS QUE EL XENOTRASPLANTE PODRÍA SER UNA TERAPIA ALTERNATIVA**



Fuente: Aristizabal et al.2017 p.66, extraída de Ekser et al.2012.

### 7.3

## Aplicación de la biotecnología moderna en microorganismos

La biotecnología industrial, también conocida como biotecnología blanca, utiliza enzimas y microorganismos para fabricar productos de base biológica en sectores tan diversos como productos químicos, alimentos y piensos, salud, detergentes, papel y pulpa, textiles y energía. Con la incorporación de la ingeniería genética a los procesos de producción industriales que involucran el uso de microorganismos o sus derivados, fue posible modificar el control de las vías metabólicas y lograr la sobreproducción por ejemplo de enzimas, ácidos orgánicos o vitaminas y optimizar la eficiencia de los procesos de producción y/o la calidad de los productos. También ha facilitado la aplicación en agricultura, biocombustibles, biomateriales, biorremediación o producción de vacunas, otros fármacos o insumos para la industria alimentaria (aditivos, colorantes, proteínas vegetales, etc.)

Prácticamente todas las enzimas que se emplean hoy en la industria (alimenticia, textil, química, farmacéutica, papel, detergentes, etc.) son recombinantes, es decir, producidas por microorganismos OGM (Tabla 1).

**TABLA 1: EJEMPLOS DE ENZIMAS USADAS EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA**

INDUSTRIA	ENZIMAS	USOS
Cárnicas	Papaína. Fiscina. Bromelina	Ablandamiento de carnes. Producción de hidrolizados.
Helados	Lactasa. Glucosa-isomerasa	Evita la textura "arenosa" provocada por la cristalización. Permite la utilización de jarabes de alta fructosa.
Láctea	Tripsina. Lactasa	Enmascara el gusto a óxido. Fabricación de leche deslactosada, evita la cristalización de leche concentrada.
Quesería	Quimosina (renina). Lactasa. Lipasa	Coagulación de las proteínas de la leche (caseína). Influencia en el sabor y aceleración de la maduración.
Bebidas no alcohólicas (Jugos)	Pectinasas. Glucosa-isomerasa. Tannasa. Glucosa-oxidasa	Coagulación de las proteínas de la leche (caseína). Influencia en el sabor y aceleración de la maduración.
Cervecería	Amilasas. Papaína. Pepsina	Usadas para licuar la pasta de malta. Evitan la turbidez durante la conservación de ciertos productos.
Vinificación	Pectinasas. Glucosa-oxidasa	Mejoran la clarificación y extracción de jugos. Evitan el oscurecimiento y los sabores desagradables.

Fuente: Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología (Argenbio)

Los avances en biotecnología han dado lugar además a la posibilidad de elaborar, a través del uso de microorganismos o cultivos celulares (en células de mamíferos), productos como fármacos y proteínas humanas así como productos libres de patógenos, hipoalergénicos o reducir otros riesgos relacionados a la producción convencional. Es destacable el caso de productos farmacéuticos que colaboran en evitar el contagio de enfermedades como el síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA) y la hepatitis B o C, por empleo de hormonas o factores derivados de sangre u órganos humanos (tabla 2). Asimismo, la ingeniería genética permite obtener proteínas que no existen en la naturaleza, como los anticuerpos de cadena simple, útiles en el diagnóstico y tratamiento de algunas enfermedades.

**TABLA 2: EJEMPLOS DE FÁRMACOS PRODUCIDOS COMO PROTEÍNAS RECOMBINANTES**

<b>PRODUCTO</b>	<b>SISTEMA DE OBTENCIÓN*</b>	<b>APLICACIÓN</b>
Insulina	L, B	Diabetes mellitus
Hormona de crecimiento humana	L, B	Ciertos defectos en el crecimiento
Factor de coagulación VIII	C	Hemofilia A
Factor de coagulación IX	C	Hemofilia B
Activador del plasminógeno tisular	C	Infarto de miocardio
Hirudin (anticoagulante)	L	Tratamientos anticoagulantes y prevención de trombosis
Proteína C activada	C	Sepsis severa
Calcitonina	B	Osteoporosis postmenopáusica
Antagonista de la hormona de crecimiento humana	B	Acromegalia
Hormona folículo-estimulante	C	Infertilidad, anovulación, superovulación
Hormona luteinizante	C	Ciertas formas de infertilidad
Tirotrófina	C	Cáncer de tiroides
Glucagon	L	Hipoglucemia
Eritropoyetina	C	Anemia
Factor estimulante de colonias de granulocitos y monocitos	B	Neutropenia causada por quimioterapia
Factor de crecimiento insulínico tipo-1	B	Deficiencia severa del factor
Interferón alfa	B	Hepatitis B y C, y ciertos tipos de cáncer
Interferón beta	C	Esclerosis múltiple
Interleukina – 1	B	Artritis reumatoide
Interleukina – 2	B	Carcinoma renal
Vacuna hepatitis B	L	Vacunación contra la hepatitis B
Vacuna virus papiloma	L	Vacunación contra la enfermedad causada por el HPV
Vacuna Borrelia burgdorferi	B	Vacunación contra la enfermedad de Lyme
Anticuerpos monoclonales	B	Asma, psoriasis, artritis reumatoide, esclerosis múltiple, linfoma y otros tipos de cáncer – Diagnóstico por imágenes
DNAsa	C	Fibrosis cística

\*B, bacterias (*Escherichia coli*); L, levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*); C, células de mamífero (CHO, BHK, etc.)

## 7.4

# La biotecnología y las fábricas de moléculas

Con el avance de la biotecnología moderna también es posible producir moléculas no solo en microorganismos o cultivos celulares de mamíferos sino también en plantas o animales ya que con el uso de la ingeniería genética es posible expresar en estos organismos genes de cualquier origen, inclusive humanos.

Los términos biofábrica, fábrica de moléculas o molecular pharming/farming se refieren al empleo de plantas o animales para producir moléculas interesantes para industrias como la farmacéutica, la química, etc. En los cultivos vegetales esta técnica consiste en modificar genéticamente a las plantas con el fin de alterar sus rutas metabólicas y así producir el compuesto de interés o bien introducir genes para producir ciertos biopolímeros, enzimas y fármacos proteicos.

En comparación con el uso de microorganismos o cultivos celulares, las plantas como biofábricas tienen ciertas ventajas en cuanto a que permiten la producción a gran escala con menores costos, disponibilidad prácticamente ilimitada de biomasa usando los sistemas convencionales de cultivos de plantas, se evita la contaminación con patógenos y la posibilidad de obtener una molécula igual, en la mayoría de los casos, a la deseada.

La producción de vacunas en plantas ofrece la posibilidad de generar vacunas comestibles, que resultan más baratas, estables y fáciles de administrar. Hay muchas vacunas comestibles (para rabia en espinaca, hepatitis B lechuga, cólera en papa) que se están desarrollando en el laboratorio e incluso ya en etapa de prueba en humanos con resultados satisfactorios.

En cuanto a emplear animales genéticamente modificados como biofábricas esto también es posible mediante la transferencia de genes de otros organismos (otras especies o géneros) para expresar por ejemplo fármacos como hormonas o insulina humana o animal. Existen en la actualidad cabras transgénicas que generan una proteína anticoagulante en sus ubres. Este producto es el primer medicamento producido en animales transgénicos que cuenta con la aprobación de las agencias regulatorias de Europa y EEUU. Otros proyectos incluyen la producción de lisozima, lactoferrina, hormona de crecimiento, insulina, alfa-antitripsina, activador tisular de plasminógeno, etc., en leche de vacas, cerdos, ovejas y cabras, o en huevos de gallina.

Argentina ha sido pionera en este campo con el desarrollo de la empresa Biosidus que obtuvo bovinos transgénicos capaces de producir hormona de crecimiento humana en la leche al introducir el gen de interés junto con un elemento (promotor) que permite su expresión únicamente en la glándula mamaria. Este desarrollo fue exitoso y lograron perpetuar esta característica de expresión de hormona de crecimiento en leche en la descendencia con lo que lograron constituir lo que han llamado el primer tambo farmacéutico. Más recientemente, esta empresa consiguió desarrollar, con igual estrategia, terneras que producen insulina humana en la leche y terneras que expresan hormona de crecimiento bovina en su leche. En ambos casos las moléculas son luego extraídas de la leche y purificadas.

En relación con la calidad nutricional de la leche, dos instituciones estatales argentinas el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM), lograron una ternera de raza Jersey, a la que llamaron Rosita Isa, que es el primer clon bovino bi-transgénico obtenido en el país y también el primero en el mundo al cual se le han incorporado dos genes humanos que codifican dos proteínas presentes en la leche humana de alta importancia para la nutrición de los lactantes. Dichos genes codifican para las proteínas lisozima y lactoferrina humanas. Las proteínas lactoferrina y lisozima humanas tienen funciones antibacterianas, de captura de hierro y son inmunomoduladores, entre otras características. Con este importante logro, la leche que produzca esta ternera en su vida adulta se asemejará a la leche humana, ya que la leche de vaca casi no contiene lisozima y la actividad de la lactoferrina es específica de cada especie.

La producción de proteínas terapéuticas en animales transgénicos permite obtener productos muy similares a los sintetizados en el organismo animal original, pero requiere de un tiempo de desarrollo muy largo y costoso. El aumento en la escala de producción es lento y se limita a los ciclos naturales de crecimiento de la especie utilizada. En consecuencia, las ventajas asociadas a la producción de proteínas recombinantes en biorreactores vegetales han transformado a éstos en una opción altamente competitiva.



## 08.

# Los Cultivos Genéticamente Modificados (GM) en el mundo

---

Según el último informe del Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones Agrobiotecnológicas (ISAAA por sus siglas en inglés), 541 cultivos GM o transgénicos han sido aprobados en 32 especies vegetales: Alfalfa (*Medicago sativa*), Manzana (*Malus x Domestica*), Canola Argentina (*Brassica napus*), Frijol (*Phaseolus vulgaris*), Clavel (*Dianthus caryophyllus*), Achicoria (*Cichorium intybus*), Algodón (*Gossypium hirsutum L.*), Cauquí (*Vigna unguiculata*), Bentgrass rastrero (*Agrostis stolonifera*), Berenjena (*Solanum melongena*), Eucalipto (*Eucalyptus sp.*), Lino (*Linum usitatissimum L.*), Maíz (*Zea mays L.*), Melón (*Cucumis melo*), Papaya (*Carica papaya*), Petunia (*Petunia hybrida*), Piña (*Ananas comosus*), Ciruela (*Prunus domestica*), Canola polaca (*Brassica rapa*), Álamo (*Populus sp.*), Patata/papa (*Solanum tuberosum L.*), Arroz (*Oryza sativa L.*), Rosa (*Rosa hybrida*), Cártamo (*Carthamus tinctorius L.*), Soja (*Glycine max L.*), Calabaza (*Cucurbita pepo*), Remolacha azucarera (*Beta vulgaris*), Caña de azúcar (*Saccharum sp.*), Pimiento dulce (*Capsicum annuum*), Tabaco (*Nicotiana tabacum L.*), Tomate (*Solanum lycopersicum*) y Trigo (*Triticum aestivum*).

Entre las características expresadas en estos cultivos transgénicos se encuentran: reducción de azúcares, tolerancia a herbicidas, resistencia a insectos, modificación de color en flores y frutas, contenido en aminoácidos, contenido de almidón, contenido de carbohidratos, reducción de nicotina, no pardeamiento, producción de quimosina, resistencia a enfermedades virales, producción de fitasa, aumento volumétrico de la madera, resistencia a sequía y estreses abióticos, entre otros.

Desde 1996 según ISAAA, más de 70 países han adoptado cultivos transgénicos ya sea autorizando su importación y consumo o su cultivo y consumo: Argentina, Australia, Bangladesh, Bolivia, Brasil, Burkina Faso, Canadá, Chile, China, Colombia, Corea del Sur, Costa Rica, Cuba, Egipto, Eswatini, Etiopía, Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Croacia, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, España, Eslovenia, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumania, Suecia, Suiza, Ucrania, Estados Unidos, Filipinas, Ghana, Honduras, India, Indonesia, Irán, Japón, Malasia, Malawi, Malta, México, Myanmar, Nueva Zelanda, Nigeria, Pakistán, Panamá, Paraguay, Rusia, Singapur, Sudáfrica, Sudán, Taiwán, Tailandia, Turquía, Uruguay, Vietnam y Zambia.

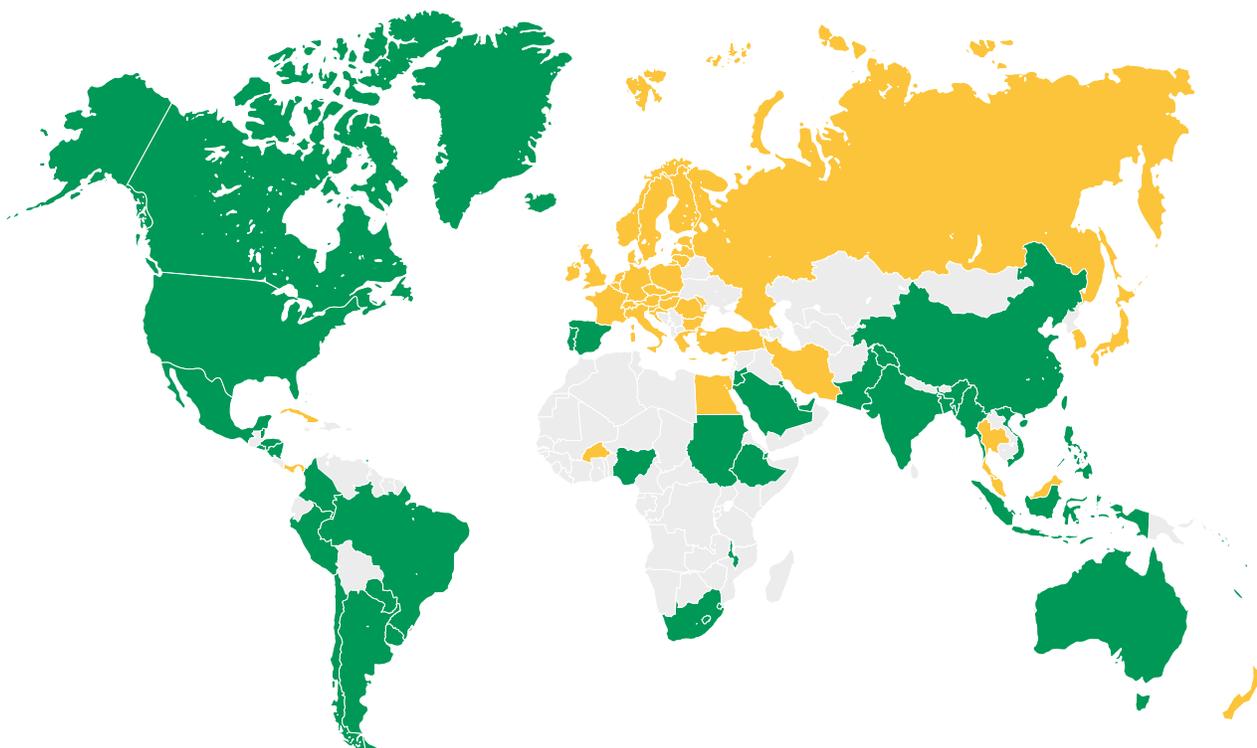
El primer cultivo transgénico sembrado comercialmente en el mundo fue la soja tolerante al herbicida glifosato, en el año 1996 y desde ese momento el área sembrada con cultivos transgénicos ha crecido en forma sostenida. Según el reporte del ISAAA de 2019, 17 millones de agricultores de 29 países sembraron cultivos transgénicos (tabla 3). Del total de cultivos GM sembrados, el 55,5% se registró en países en desarrollo y el 44,5% en países desarrollados. En 2018, los países que sembraron cultivos GM fueron: Argentina, Australia, Bangladesh, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, China, Colombia, Costa Rica España, Etiopía, Eswatini, Filipinas, Honduras, India, Indonesia, Malawi, México, Myanmar, Nigeria, Paraguay, Pakistán, Portugal, Sudáfrica, Sudán, Uruguay y Vietnam. Los cinco principales países con el área más amplia sembrada con cultivos GM fueron los Estados Unidos, Brasil, Argentina, Canadá e India. Por otro lado, hubo al menos 42 países que, si bien no sembraron cultivos GM, importaron y consumieron cultivos GM y sus derivados.

## FIGURA 7: PAÍSES PRODUCTORES E IMPORTADORES DE CULTIVOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS

**71** países  
adoptaron cultivos  
GM desde 1996

**29** países  
son productores

**42** países  
son importadores



Fuente: ISAAA, 2019



**TABLA 3: ÁREA GLOBAL DE CULTIVOS GM TRANSGÉNICOS EN 2017 Y 2018 POR PAÍS**  
(millones de hectáreas)

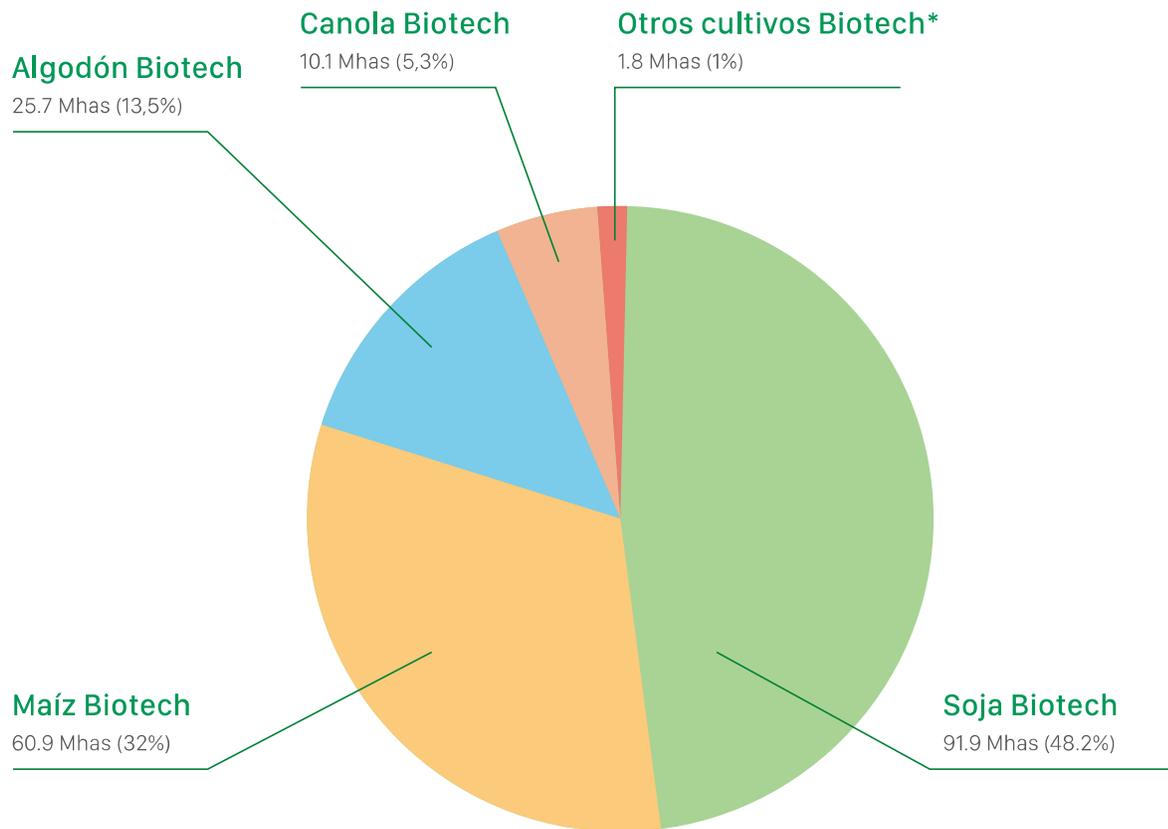
POSICIÓN	PAÍS	2017	2018
1	Estados Unidos*	75.0	71.5
2	Brasil*	51.3	52.8
3	Argentina*	23.9	24
4	Canadá*	12.7	12.5
5	India*	11.6	11.9
6	Paraguay*	3.8	4.1
7	China*	2.9	3.2
8	Sudáfrica*	2.7	2.7
9	Pakistán*	2.8	2.5
10	Bolivia*	1.3	1.4
11	Uruguay*	1.3	1.2
12	Filipinas*	0.6	0.9
13	España*	0.8	0.6
14	Myanmar*	0.3	0.3
15	Sudán*	0.2	0.2
16	México*	0.2	0.2
17	España*	0.1	0.1
18	Colombia*	0.1	0.1
19	Vietnam*	<0.1	0.1
20	Honduras	<0.1	<0.1
21	Chile**	<0.1	<0.1
22	Malawi	---	<0.1
23	Portugal	<0.1	<0.1
24	Indonesio	<0.1	<0.1
25	Bangladesh	<0.1	<0.1
26	Nigeria	---	<0.1
27	Esuatini	<0.1	<0.1
28	Etiopía	---	<0.1
29	Costa Rica	<0.1	<0.1
	<b>Total</b>	<b>191.7</b>	<b>190.4</b>

\* Países que cultivaron 50.000 hectáreas, o más. \*\*Redondeado. \*\* Superficie de semilleros cuya producción debe ser exportada.

Fuente: ISAAA, 2019

Desde la siembra inicial de 1.7 millones de hectáreas en 1996, cuando se comercializó el primer cultivo GM, la siembra de 2019 indica un aumento de cerca 112 veces. Por lo tanto, los cultivos GM se consideran como la tecnología más rápidamente adoptada en la historia de la agricultura moderna. Con altas tasas de adopción de los principales cultivos biotecnológicos en estos países, aproximadamente 1.950 millones de personas o el 26% del mundo cosecharon los beneficios de la biotecnología en 2019. La superficie sembrada con semillas GM fue de 190,4 millones de hectáreas, de estas el 48,2% de correspondieron a soja, el 32% a maíz, el 13,5% a algodón y el 5,3% a canola. El 1% restante correspondió a alfalfa, remolacha azucarera, caña de azúcar, papaya, cártamo, papa, berenjena, calabacín amarillo, manzana, piña/ananá, clavel y rosa (ISAAA, 2019).

**FIGURA 8: SUPERFICIE SEMBRADA POR TIPO DE CULTIVO TRANSGÉNICO**



Fuente: ISAAA 2019

Con respecto a las características de los cultivos se observó que un 45% de la superficie total de cultivos transgénicos se sembró con cultivos tolerantes a herbicida (soja, maíz, canola, algodón, remolacha azucarera y alfalfa), 12% con cultivos resistentes a insectos-Bt (maíz, algodón, berenjena y caña de azúcar) y el 43% con cultivos que contenían las características de tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos juntas apiladas (maíz, algodón y soja). Por ello se dice que son una acumulación de eventos. También se sembraron, aunque en superficies mucho menores, cultivos resistentes a virus (papaya, calabacín amarillo), cultivos con tolerancia a sequía (maíz y caña de azúcar), baja lignina (alfalfa), color azul (clavel, rosa), menos pardeamiento (papa y manzana), producción de fitasa (maíz), alto oleico (soja y cártamo), color rosa (ananá/piña).

A nivel mundial existe una innumerable cantidad de proyectos de desarrollo de nuevos OGM en etapa experimental con diferentes características como: a) mejoras agronómicas (plantas resistentes a enfermedades e insectos, tolerantes a herbicidas y a estrés abiótico -como sequía, salinidad, heladas, etc.-); b) mejoras en calidad (modificación en la proporción de nutrientes u otros componentes como vitaminas, minerales, licopeno, almidón, amilopectina, eliminación de toxinas y alérgenos naturales, frutos -tomates, bananas, melones, frambuesas, etc.- que maduren más lentamente, forestales con menor contenido de lignina, aceites más aptos para maquinarias y aplicaciones industriales. También desarrollos para alimentación animal como forrajes con menos lignina -más digeribles- y granos -como el maíz- con niveles mayores de aminoácidos esenciales, como lisina y metionina y flores que tardan más en marchitarse); y, c) plantas como fábricas de moléculas de interés (enzimas, proteínas animales, aditivos, vacunas, etc.).

## 09.

# Los Cultivos Genéticamente Modificados (GM) en la región del CAS

---

La región del CAS ha estado en la vanguardia de los avances normativos sobre los OGM, de esta manera, en 1991, Argentina creó un marco regulatorio para OGM y en 1996, Brasil aprobó la primera ley en la materia. Poco tiempo después se hizo posible la adopción de la primera soja GM tolerante al herbicida glifosato, Argentina fue el primer país de Sudamérica y, junto con México, los primeros países en Latinoamérica en regular los OGM.

En este contexto, en 2004 los ministros de Agricultura de los países del CAS encomendaron a REDPA la formación de un grupo de trabajo sobre políticas públicas en biotecnología con los correspondientes equipos técnicos de las carteras de Agricultura de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay. La resolución ministerial, CAS/ RES 10/2004, evidencia el compromiso con el crecimiento y la innovación del sector agrícola y la consciencia del potencial de la biotecnología moderna y la necesidad de adoptar nuevas tecnologías que permitan el desarrollo agropecuario de la región. Desde entonces los países del CAS vienen conduciendo acciones regionales para lograr la armonización de los marcos regulatorios y la posible sincronización de las aprobaciones de los organismos genéticamente modificados, aspectos de comercialización y negociaciones en foros internacionales, investigación, información y comunicación. Actualmente, todos los países del CAS cuentan con un marco jurídico que regula los OGM y la región se destaca en el desarrollo de marcos regulatorios e implementación de estrictos procesos de evaluación de los cultivos GM. Estos procesos de evaluación se basan en principios y métodos científico-técnicos que garantizan la seguridad para el agroecosistema y la inocuidad para consumo animal y humano, que han sido clave para la investigación y el desarrollo de los países como así también para la introducción exitosa y segura de cultivos GM con grandes beneficios para los productores y consumidores.

En tanto, Latinoamérica siembra cultivos transgénicos desde la década de 1990 y tiene un rol importante en la adopción y desarrollo de la biotecnología agropecuaria a nivel mundial. Precisamente, diez países latinoamericanos siembran cultivos GM y la región del CAS cubre el 44% de los cultivos GM que se siembran en el mundo. Según datos de Biotec-Latam, Brasil está a la cabeza como principal productor de OGM con 54 millones de hectáreas, le siguen Argentina con 24 millones de hectáreas, Paraguay con 4.1 millones de hectáreas, Bolivia con 1.4 millones de hectáreas y Uruguay con 1.2 millones de hectáreas. En estos países los cultivos GM se aprueban para cultivo, procesamiento, consumo humano y animal (tabla 4).

Por su parte, Chile registró 9.456 hectáreas de semilleros GM, a agosto de 2022, cuya producción debe ser exportada.

**TABLA 4: SIEMBRA DE CULTIVOS OGM CON APROBACIÓN COMERCIAL EN LOS PAÍSES DEL CAS** (Actualizada a marzo de 2022)

País	Sup. Total con GM (ha)	Soja	Maíz	Algodón	Canola	Caña de azúcar	Frijol (poroto)	Cártamo
Argentina	24.000.000	71,40%	26,70%	1,90%	0,01%			*
Bolivia**	1.400.000	100%						
Brasil	54.120.000	66,90%	30,30%	2,80%		0,03%	0,01%	
Paraguay	4.100.000	85,60%	14,10%	0,30%				
Uruguay	1.235.000	85%	15%					

\*En Argentina el cártamo transgénico se siembra en una pequeña superficie para producción de quimosina bovina (molecular farming). GM= Genéticamente Modificada

Fuente: Biotec-Latam Inicio (biotec-latam.com)

En la tabla 5, se presentan los distintos eventos OGM que han recibido aprobación comercial hasta la fecha en la región del CAS desde la primera introducción de la soja tolerante a glifosato en 1996

**TABLA 5: EVENTOS GM APROBADOS EN LOS PAÍSES DEL CAS A ENERO 2022**

Cultivo	Característica	Evento	AR G	B R	P Y	U Y	BO L
Soja	Tolerancia a glifosato	GTS-40-3-2	✓	✓	✓	✓	✓
Soja	Tolerancia a glufosinato de amonio	A2704-12	✓	✓		✓	
Soja	Tolerancia a glufosinato de amonio	A5547-127	✓	✓	✓	✓	
Soja	Resistencia a Lepidópteros y Tolerancia a glifosato	MON89788 x MON87701	✓	✓*	✓	✓	
Soja	Tolerancia a glifosato	MON89788	✓	✓	✓	✓	
Soja	Resistencia a Lepidópteros	MON87701	✓	✓	✓	✓	
Soja	Tolerancia a herbicidas de la clase de las imidazolinonas	BPS-CV127-9	✓	✓	✓	✓	
Soja	Tolerancia a glufosinato, tolerancia a 2,4-D	DAS-68416-4		✓*			
Soja	Tolerancia a 2,4 D, glufosinato de amonio y glifosato	DAS-44406-6	✓	✓	✓	✓	
Soja	Resistencia a sequía y tolerancia a glufosinato de amonio	HB4	✓	✓	✓		
Soja	Tolerancia al glifosato, sulfonilurea, Aceite / ácido graso modificado	DP-305423-1 x MON-04032-6	✓	✓*			
Soja	Tolerancia a herbicidas de sulfonilurea, aceite / ácido graso modificado	DP-305423-1	✓	✓			
Soja	Tolerancia a glifosato y a HPPD	FG72	✓	✓		✓	
Soja	Tolerancia a glifosato y a HPPD	FG72 x A5547-127	✓	✓	✓	✓	
Soja	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a glifosato	DAS 81419-2	✓	✓	✓		
Soja	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a glufosinato de amonio y a glifosato	DAS 81419-2 x DAS 44406-6	✓	✓*	✓		

Cultivo	Característica	Evento	AR G	B R	P Y	U Y	BO L
Soja	Tolerancia a dicamba y a glifosato	MON 87708	✓	✓	✓	✓	
Soja	Tolerancia a dicamba y a glifosato	MON 87708 x MON 89788	✓*	✓*	✓	✓	
Soja	Resistencia a Lepidópteros	MON 87751	✓	✓	✓	✓	
Soja	Tolerancia a dicamba, glifosato y resistencia a lepidópteros	MON 87751 x MON 87708 x MON 87701 x MON 89788		✓*	✓	✓	
Soja	Tolerancia al glufosinato y al mesotrionas	SYHTOH2	✓		✓	✓	
Soja	Resistencia a sequía y tolerancia glufosinato de amonio y glifosato	HB4 x GTA 40-3-2	✓	✓*			
Soja	Tolerancia a glifosato y glufosinato	DBN-09004-6	✓	✓			
Soja	Resistencia a nematoide e seletividade aos herbicidas inibidores da HPPD	GMB151		✓			
Soja	Resistencia frente al ataque de ciertos insectos lepidópteros y tolerancia a herbicidas en base a glufosinato de amonio	DNB-08002-3	✓				
Maíz	Resistencia a Lepidópteros	BT176	✓	✓			
Maíz	Tolerancia a Glufosinato de Amonio	T25	✓	✓		✓	
Maíz	Resistencia a Lepidópteros	MON810	✓	✓	✓	✓	
Maíz	Resistencia a Lepidópteros	Bt11	✓	✓	✓	✓	
Maíz	Tolerancia a glifosato	NK603	✓	✓	✓	✓	
Maíz	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a Glufosinato de Amonio	TC1507	✓	✓	✓	✓	
Maíz	Tolerancia a Glifosato	GA21	✓	✓	✓	✓	
Maíz	Tolerancia a glifosato y resistencia a Lepidópteros	NK603 X MON810	✓	✓*	✓	✓	
Maíz	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a Glufosinato de Amonio y Glifosato	TC1507 x NK603	✓	✓*	✓	✓	
Maíz	Tolerancia a glifosato y Resistencia a Lepidópteros	GA21 X Bt11	✓	✓*	✓	✓	
Maíz	Resistencia a Lepidópteros	MON 89034	✓	✓	✓	✓	
Maíz	Tolerancia a glifosato y Resistencia a Coleópteros	MON 88017	✓	✓		✓	
Maíz	Tolerancia a glifosato y resistencia	MON 89034 x MON 88017	✓	✓*	✓	✓	
Maíz	Tolerancia a herbicida e resistencia a insectos	MON89034 x MON88017 e DAS01507-1		✓*			
Maíz	Resistencia a Lepidópteros	MIR162	✓	✓	✓	✓	
Maíz	Resistencia a Lepidópteros	Bt11 x GA21 x MIR162	✓*	✓*	✓	✓	
Maíz	Tolerancia a glifosato	DP-098140-6	✓				
Maíz	Resistencia a Coleópteros	MIR604	✓	✓		✓	

Cultivo	Característica	Evento	AR G	B R	P Y	U Y	BO L
Maíz	Tolerancia al glufosinato, glifosato, resistencia a insectos coleópteros y lepidópteros, metabolismo de la manosa	Bt11 x MIR162 x MIR604 x GA21	✓	✓*	✓	✓	
Maíz	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a Glufosinato de Amonio y Glifosato	MON89034 x TC1507 x NK603	✓	✓*	✓	✓	
Maíz	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a Glifosato	MON89034 x NK603	✓	✓*	✓	✓	
Maíz	Tolerancia a glufosinato y Resistencia a Lepidópteros	TC1507 x MON810	✓	✓*	✓		
Maíz	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a glufosinato de amonio y glifosato	TC1507 x MON810 x NK603	✓	✓*	✓	✓	
Maíz	Tolerancia a glufosinato, resistencia a insectos coleópteros, lepidópteros	TC1507 x DAS-59122-7	✓	✓*			
Maíz	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a glifosato y a glufosinato de amonio	Bt11 x MIR162 x TC1507 x GA21	✓*				
Maíz	Tolerancia a 2,4-D	DAS-40278-9	✓	✓	✓	✓	
Maíz	Tolerancia a glifosato y glufosinato. Resistencia a antibióticos.	NK603 x T25	✓	✓*		✓	
Maíz	Tolerancia a herbicidas	NK603 x T25 x DAS-40278		✓*			
Maíz	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a glifosato	TC1507 x MON810 x MIR162 x NK603	✓*	✓*	✓		
Maíz	Tolerancia al glufosinato, glifosato, resistencia a lepidópteros, resistencia a los antibióticos, metabolismo de la manosa	TC1507 x MON810 x MIR162	✓	✓*	✓		
Maíz	Resistencia a 2,4-D, Tolerancia a glifosato	DAS-40278-9 x NK603	✓	✓*		✓	
Maíz	Múltiple Resistencia a insectos, metabolismo de la manosa.	5307	✓	✓			
Maíz	Tolerancia al glufosinato, glifosato, resistencia a lepidópteros, metabolismo de la manosa	MON89034 x TC1507 x NK603 x MIR162	✓*	✓*	✓	✓	
Maíz	Tolerancia al glufosinato, glifosato, resistencia a coleópteros, lepidópteros, múltiples insectos, metabolismo de la manosa	Bt11 x MIR162 x MIR604 x TC1507 x 5307 x GA21	✓	✓*			
Maíz	Resistencia a Lepidópteros, tolerancia a glifosato, tolerancia a glifosato	Bt11 x MIR162 x MON89034 x GA21	✓*	✓*	✓	✓	
Maíz	Esterilidad masculina, Restauración de la fertilidad, Marcador visual	SPT/DP 32138			✓		
Maíz	Tolerancia al glufosinato, glifosato, resistencia lepidópteros, tolerancia a 2,4-D	MON 89034 x TC1507 x NK603 x DAS-40278-9	✓	✓*	✓	✓	
Maíz	Tolerancia a herbicidas e resistencia a insectos	MON 89034 x TC1507 x MIR162 x NK603 x DAS-40278-9	✓	✓*			
Maíz	Tolerancia a herbicidas e resistencia a insectos	MON-87427-7 x MON-89034-3 x DAS-01507-1 x MON-87411-9 x DAS-59122-7 x DAS-40278-9		✓*			
Maíz	Resistencia a Lepidópteros y Coleópteros, y tolerancia a glufosinato de amonio y a glifosato.	MON 89034 x MON 88017 x TC1507 x DAS 59122-7	✓	✓*			
Maíz	Tolerancia a glifosato, resistencia a coleópteros	MON 87411	✓	✓		✓	
Maíz	Tolerancia a glifosato	MON 87427	✓	✓	✓	✓	

Cultivo	Característica	Evento	AR G	B R	P Y	U Y	BO L
Maíz	Tolerancia al estrés por sequía, Resistencia a los antibióticos	MON 87460		✓*			
Maíz	Tolerancia a glufosinato y a dicamba	MON87419-8	✓	✓		✓	
Maíz	Alfa amilasa modificada, metabolismo de la manosa	3272	✓	✓*			
Maíz	Tolerancia a glifosato, resistencia a coleópteros, lepidópteros	MON87427 x MON89034 x MIR162 x MON87411	✓	✓*	✓	✓	
Maíz	Tolerancia a glifosato, resistencia a coleópteros, lepidópteros	MON87427 x MON89034 x MON88017	✓				
Maíz	Tolerancia a herbicidas formulados en base a productos de la familia de ariloxifenoxi y al 2,4-D, glufosinato de amonio y glifosato, y resistencia a Lepidópteros.	MON89034 x TC1507 x NK603 x MIR162 x DAS40278	✓	✓*	✓	✓	
Maíz	Tolerancia a glufosinato, resistencia a coleópteros y a múltiples insectos	MZIR098		✓*		0	
Maíz	Tolerancia a glufosinato, glifosato	MZHG0JG				✓**	
Maíz	Resistencia a Lepidópteros y Coleópteros, y tolerancia a glufosinato de amonio y a glifosato.	MON87427 x MON89034 x TC1507 x MON88017 x DAS59122	20 19	✓*			
Maíz	Resistencia a Lepidópteros y Coleópteros, y tolerancia a glufosinato de amonio y a glifosato.	MON87427 x MON89034 x 1507 x MON88017 x DAS59122	✓	✓*			
Maíz	Tolerancia a glifosato, resistencia a lepidópteros	MON87427 x MON89034 x NK603	✓			✓*	
Maíz	Tolerancia a glifosato, resistencia a lepidópteros, metabolismo de manosa	MON87427 x MON89034 x MIR 162 X NK603	✓	✓*	✓*	✓*	
Maíz	Tolerancia a herbicidas	MON 87427 x MON 87419 x NK603	✓	✓*			
Maíz	Tolerancia a herbicidas e resistencia a insectos	MON-89034-3 x DAS-01507-J x SYN-IR162-4 x MON-00630-6 x DAS40278-9		✓*			
Maíz	Resistencia a Lepidópteros	MON 95379		✓			
Maíz	Resistencia Lepidópteros y Coleópteros, tolerancia a herbicidas a base de glifosato, glufosinato de amonio y a dicamba.	MON-87427-7 x MON-89034-3 x MON-00810-6 x SYN-IR162-4 x MON-87411-9 x MON-87419-8	✓			✓	
Maíz	Tolerancia a herbicidas a base de glifosato, glufosinato de amonio y dicamba	MON-87427-7 x MON-87419-8 x MON 00603-6	✓			✓	
Maíz	Tolerancia a herbicidas a base de glifosato (tejido específico), glufosinato de amonio, 2,4-D y dicamba	MON-87429		✓			
Maíz	Tolerancia al glufosinato y resistencia a insectos coleópteros y lepidópteros	4114		✓**			
Maíz	Tolerancia al glufosinato y glifosato, resistencia a lepidópteros y alfa amilasa modificada, metabolismo de la manosa	3272 X BT11 X MIR162 X GA21	✓	✓*			

Cultivo	Característica	Evento	AR G	B R	P Y	U Y	BO L
Maíz	Tolerancia a Herbicida	MON-00603-6 x ACS-ZM003-2 x DAS-40278-9, acumulados intermedios	✓				
Maiz	Resistencia a Lepidópteros	EH -BRS913-2		✓			
Algodón	Resistencia a Lepidópteros	MON531	✓	✓	✓		
Algodón	Tolerancia a glifosato	MON1445	✓	✓	✓		
Algodón	Resistencia a Lepidópteros y Tolerancia a glifosato	MON 1445 X MON531	✓	✓*	✓		
Algodón	Tolerancia a glufosinato	LL25	✓	✓			
Algodón	Tolerancia al glufosinato, resistencia a lepidópteros	DAS-24236-5 x DAS-21023-5		✓*			
Algodón	Resistencia a lepidópteros, a antibióticos, Marcador visual	MON 15985		✓	✓		
Algodón	Tolerancia a glifosato	GHB614	✓	✓	✓		
Algodón	Tolerancia al glufosinato, resistencia a lepidópteros	GHB 119 x T304-40	✓	✓*			
Algodón	Tolerancia a glifosato	MON 88913		✓	✓		
Algodón	Tolerancia al glufosinato, glifosato, resistencia a lepidópteros	GHB614 x T304-40 x GHB119	✓	✓*			
Algodón	Tolerancia a glifosato y a glufosinato	GHB614 x LL25	✓	✓*			
Algodón	Tolerancia a glifosato, Resistencia a lepidópteros, a antibióticos, Marcador visual	MON88913 x MON15985		✓*	✓		
Algodón	Tolerancia a glifosato, Resistencia a lepidópteros, a antibióticos, Marcador visual	COT102 x MON 15985 x MON 88913		✓*			
Algodón	Tolerancia al glufosinato, glifosato y Dicamba, resistencia a lepidópteros, antibióticos, marcador visual.	COT102 x MON 15985 x MON 88913 x MON88701		✓*			
Algodón	Tolerancia al glufosinato, glifosato, resistencia a lepidópteros, antibióticos	GHB614 x T304-40 x GHB119 x COT102	✓	✓*	✓		
Algodón	Tolerancia al glufosinato, resistencia a lepidópteros	T304-40 x GHB119 x COT102	✓	✓*			
Algodón	Tolerancia al glufosinato, Dicamba	MON 88701		✓			
Algodón	Tolerancia al glufosinato, glifosato, Dicamba	MON 88701xMON88913		✓*			
Algodón	Resistencia a lepidópteros	DAS21023-5 x DAS24236-xSyNIR120 -7		✓*			
Algodón	Tolerancia al glifosato, isoxaflutol	GHB811	✓	✓			
Algodón	Tolerancia glufosinato, 2,4-D	DAS81910-7		✓			
Algodón	Tolerancia al glufosinato, resistencia lepidópteros	GHB119	✓	✓	✓		
Algodón	Tolerancia al glufosinato, resistencia lepidópteros	T304-40	✓	✓	✓		
Algodón	Tolerancia a glifosato, al glufosinato, resistencia a lepidópteros	GHB811 x T304-40 x GHB119 x COT102		✓*			
Frijol	Resistencia a enfermedades virales	EMBRAPA 5.1		✓			
Eucaliptus	Resistencia a los antibióticos, aumento volumétrico de madera	H421		✓			
Eucaliptus	Tolerancia a glifosato	751K032		✓			

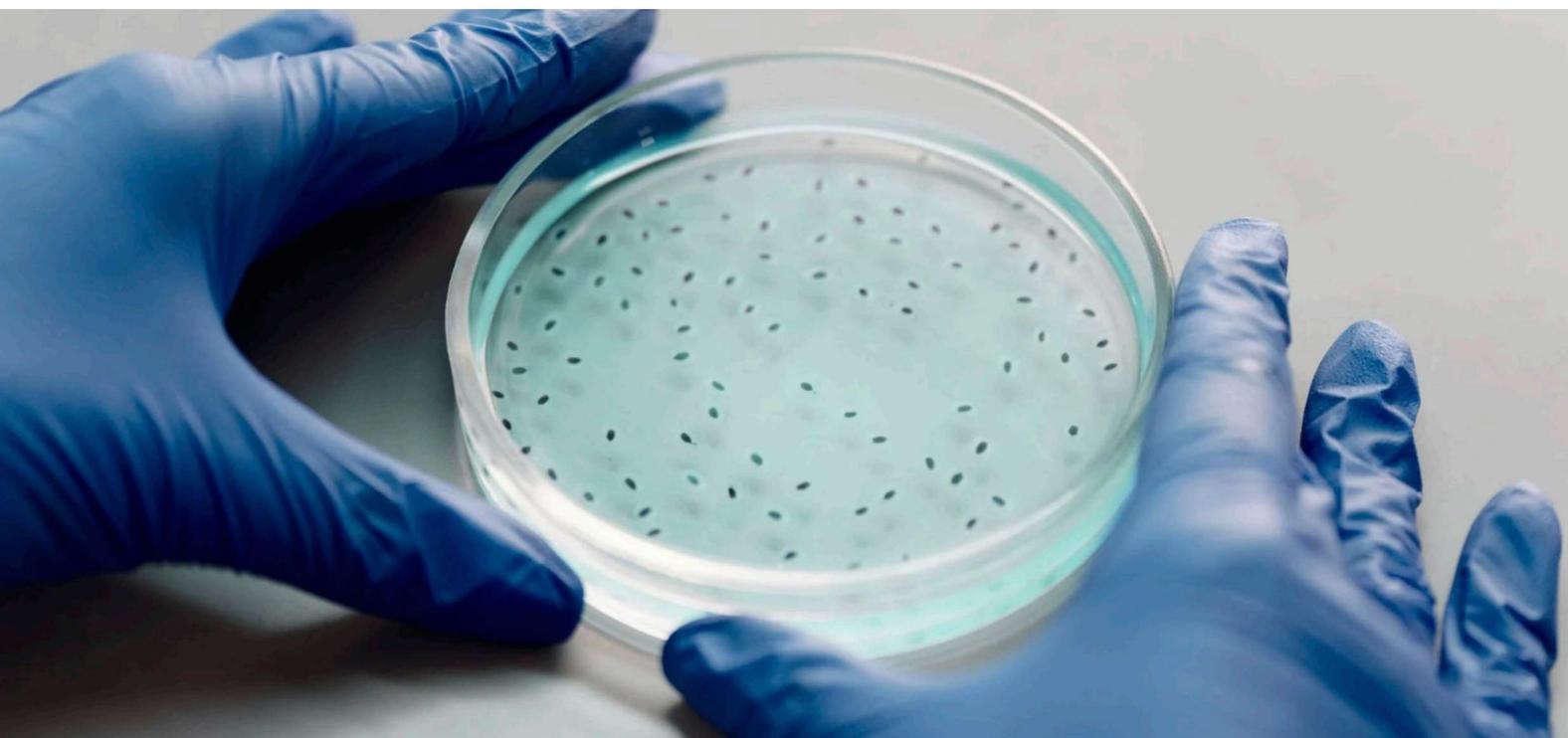
Cultivo	Característica	Evento	AR G	B R	P Y	U Y	BO L
Eucaliptus	Tolerancia a glifosato	955S019		✓			
Caña de azúcar	Resistencia a lepidópteros	CTB141175/01-A		✓			
Caña de azúcar	Resistencia a lepidópteros	CTC91087-6		✓			
Caña de azúcar	Resistencia a lepidópteros	CTC93209-4		✓			
Caña de azúcar	Resistencia a lepidópteros	CTC75064-3		✓			
Caña de azúcar	Resistencia a lepidópteros	CTC79005-2		✓			
Caña de azúcar	Resistencia a lepidópteros	CTC95019-5		✓			
Caña de azúcar	Resistencia a lepidópteros	CTC-92015-7		✓			
Papa	Resistencia a enfermedades virales	TIC-AR233-5	✓				
Cártamo	Producción de quimosina bovina en semilla	IND-10003-4, IND-10015-7 y IND-10003-4 x IND-10015-7	✓				
Alfalfa	Tolerancia a glifosato, Resistencia a antibióticos, Producción alterada de lignina	KK179 x J101	✓				
Alfalfa	Resistencia Lepidópteros y Coleópteros, tolerancia a herbicidas a base de glifosato, glufosinato de amonio y a dicamba	MON-00163-7	✓				
Trigo	Resistencia a la sequía	IND-00412-7	✓	✓*			

\* Autorización de la combinación, los individuales y combinaciones intermedias.

\*\* Autorización para consumo humano y animal no para siembra

\*\*\* Retirado previo a finalización del análisis de riesgos

Fuente: Consejo Agropecuario del Sur- Actualizada al primer semestre de 2022.



## 10.

# Desarrollos nacionales en la región del CAS que cuentan con aprobación comercial

Los países del CAS enfrentan el desafío de seguir contribuyendo decisivamente en la producción mundial de alimentos, de forma competitiva y sostenible, incorporando los avances científicos y tecnológicos en forma segura. Dentro de este panorama, si se considera la enorme riqueza en materia de biodiversidad de la región, con una economía basada fuertemente en sus recursos naturales, sumado a capacidades en ciencia y tecnología con recursos humanos altamente calificados y a la experiencia ganada en términos de evaluación de riesgos y bioseguridad, el desarrollo de la biotecnología moderna abre un mundo de oportunidades para el crecimiento de los países.

En los países de la región distintas instituciones públicas y empresas vienen apostando fuertemente en proyectos de investigación y desarrollo en biotecnología aplicada al agro, salud, alimentos y energía. En el caso del desarrollo de biotecnología vegetal, Argentina y Brasil cuentan con nueve cultivos GM desarrollados localmente por el sector público y/o privado y que han recibido aprobación comercial:

**TABLA 6: CULTIVOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS DESARROLLADOS LOCALMENTE**

CULTIVO OGM	DESARROLLADOR	PAÍS DESARROLLADOR
Soja resistente a sequía y glufosinato de amonio	CONICET- INDEAR -Bioceres	
Trigo resistente a sequía	CONICET -INDEAR -Bioceres	
Papa resistente a virus PVY	Tecnoplant	
Poroto resistente a virus del mosaico dorado	Embrapa	
Caña de azúcar resistente a lepidópteros	Centro de Tecnología Canavieira- CTC	
Eucalipto con aumento de la productividad	Futuragene	
Eucalipto tolerante a glifosato	Susano	
Maíz resistente a lepidópteros	Helix -Embrapa	
Soja tolerante a herbicida imidazolinonas	Basf -Embrapa	

## 10.1

# Soja resistente a sequía y tolerante a glufosinato y soja resistente a sequía y tolerante a glufosinato de amonio y glifosato

Investigadores del Instituto de Agrobiotecnología del Litoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (IAL- CONICET) y la Universidad Nacional del Litoral identificaron los mecanismos moleculares que le dan al girasol una buena respuesta al estrés hídrico y la posibilidad de transferir la resistencia a la sequía a cultivos de interés agronómico a través de ingeniería genética. La prueba de concepto fue demostrada en la planta de *Arabidopsis thaliana*, una planta usada como modelo experimental al que se le transfirió el gen del girasol que otorga resistencia a sequía, y posteriormente en un desarrollo conjunto con el Instituto de Agrobiotecnología Rosario (INDEAR)-Bioceres se logró obtener la soja resistente a sequía denominada HB4 que es el primer evento de Latinoamérica con resistencia a la sequía. Dicha soja también tiene la tolerancia al herbicida glufosinato de amonio.

Las variedades de soja HB4 tienen una mejor capacidad de adaptación a situaciones de estrés en periodos de sequía con mejores rendimientos. Por otra parte, la característica de tolerancia a herbicidas constituye una herramienta que permite el manejo de malezas en cultivo de soja.

La soja HB4, cuenta con aprobación comercial en Argentina, China, Brasil, Canadá, EE. UU, y Paraguay. Cabe destacar la importancia de la aprobación por parte de China, ya que es el principal importador de soja del mundo.

Ante el escenario del cambio climático, que viene afectando las cosechas con pronunciadas sequías a nivel mundial, esta tecnología tiene grandes beneficios por su resiliencia ante factores de estrés hídrico. Asimismo, el aumento de los rendimientos de los cultivos HB4 junto a un sistema productivo con siembra directa y biofertilizantes permite incrementar la fijación de carbono en el suelo con impacto en la reducción de la huella.

## 10.2

# Trigo tolerante a sequía

El trigo tolerante a la sequía (Trigo HB4) es una tecnología desarrollada por investigadores del IAL- CONICET y completada por TrigaII Genetics, la empresa conjunta de Bioceres-INDEAR con Florimond Desprez, líder mundial en genética de trigo.

**FIGURA 9: ENSAYOS A CAMPO DEL EVENTO DE TRIGO HB4, COMPARACIÓN CON EL CONTROL NO GM EN LA RESPUESTA AL ESTRÉS HÍDRICO**



Diferentes ensayos realizados por la empresa a lo largo de varias campañas agrícolas muestran que las variedades de trigo HB4 aumentaron los rendimientos bajo presión de estrés hídrico.

Estas tecnologías, tanto en trigo como la desarrollada en soja, son ejemplos claros de herramientas con las que cuenta la región para aumentar la producción haciendo frente a los períodos de sequía. Además de mitigar las pérdidas de producción durante las condiciones de sequía, la tecnología HB4 también facilita el doble cultivo, que rota estacionalmente la soja y el trigo, un sistema agrícola amigable con el medio ambiente que de otro modo está limitado por la disponibilidad de agua. Cuando este sistema de doble cultivo, utilizando las variedades de soja y trigo resistentes a sequía, se combina con prácticas regenerativas del suelo como la agricultura sin labranza (siembra directa), es posible capturar más carbono que con las prácticas de cultivo convencionales. Según datos de la empresa Bioceres, aproximadamente por cada hectárea cultivada por año, el secuestro resultante es equivalente a un mes de carbono emitido por un automóvil.

Argentina es el mayor productor de trigo de Latinoamérica y el primer país del mundo en adoptar la tecnología de tolerancia a la sequía HB4 para este cultivo básico. Por el momento, cuenta con la aprobación regulatoria para su cultivo en Argentina y Brasil; y para consumo humano y animal en Australia, Colombia, Nueva Zelanda, Nigeria y EE. UU. La empresa desarrolladora tiene también iniciado el proceso regulatorio en Bolivia, Uruguay y Paraguay y tiene la intención de iniciarlos en Rusia, así como en ciertos países de Asia y África.



## 10.3

### Papa resistente a virus PVY

La papa Spunta TIC-AR233-5, que expresa resistencia al virus del PVY fue desarrollada como una iniciativa pública-privada entre el Instituto de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biología Molecular (INGEBI) del CONICET y la empresa Tecnoplant. Fue aprobada comercialmente en Argentina en 2018.

**FIGURA 10: ENSAYO REGULADO A CAMPO DEL CULTIVO DE PAPA EVENTO TICAR, EN MALARGUE, PROVINCIA DE MENDOZA, ARGENTINA.**



El cultivo de papa es susceptible a una amplia variedad de patógenos (virus, bacterias, hongos, etc.). Las enfermedades causadas por virus como el PVY afectan a toda la planta de papa y se transmiten por el uso de tubérculos semilla enfermos, por contacto entre hojas, operarios o maquinarias y, principalmente, por áfidos vectores (insectos que transmiten estos virus). Esta problemática puede generar pérdidas de rendimiento de hasta un 40 % durante la campaña de cultivo. No existen productos para el control de los cuatro virus vegetales y los únicos medios de control son los manejos agrícolas, el uso de semillas libres de virus y el uso de insecticidas para eliminar los áfidos (vectores).

La papa Spunta TICAR aporta una solución al grave problema de infección al resistir al virus PVY, lo que además disminuye el uso de insecticidas en los campos de producción para el control de insectos transmisores de la enfermedad y genera aumento de los rendimientos.

## 10.4

### Poroto resistente a virus

El poroto transgénico EMBRAPA 5.1 (RMD), desarrollado enteramente por investigadores de la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa, por su sigla en portugués) Arroz e Feijão, posee la característica de “resistencia al mosaico dorado” y fue aprobado en Brasil en 2011.

**FIGURA 11: FLYER CON INFORMACIÓN DEL EVENTO DE POROTO CON RESISTENCIA A VIRUS, DESARROLLADO POR EMBRAPA EN BRASIL**



El mosaico dorado es una enfermedad, producida por un virus, que ha devastado los cultivos de poroto en Brasil durante décadas, causando pérdidas de entre el 40 % hasta el 100 % de la producción. La enfermedad es transmitida por un insecto, la mosca blanca, que requiere un mínimo de 5, y puede llegar a 20, pulverizaciones de insecticidas para su control.

Como consecuencia de la expresión de la resistencia al virus se logra aumentar el rendimiento en 18 % de los cultivos y reducir el uso de pesticidas, en comparación con los porotos convencionales. Esto muestra el beneficio del uso de la ingeniería genética para abordar una enfermedad viral producida en el poroto que tanto afecta la producción de la principal fuente de alimentación de Brasil y, a la vez, contribuir a la sostenibilidad de la agricultura.



## 10.5

### Caña de azúcar resistente a lepidópteros

El Centro Tecnológico de la Caña de Azúcar (CTC), una empresa brasileña, desarrolló seis eventos de caña de azúcar transgénica denominados CTB141175/01-A (CTC175-A), CTC91087-6, CTC93209-4, CTC92015-7, CTC95019-5 y CTC79005-2 resistentes a *Diatraea saccharalis*, un insecto dañino que afecta a la caña de azúcar, arroz, maíz y otras gramíneas. Dichos eventos fueron aprobados, respectivamente, en Brasil, Canadá y EE.UU en 2017-2018, en Brasil y EE. UU en 2018-2020, y en Brasil en 2019.

La fase larvaria de *Diatraea saccharalis*, es la principal plaga de la caña de azúcar. Brasil es el líder mundial en la producción de caña de azúcar y por causa de los daños provocados por dicha plaga tiene pérdidas anuales de alrededor de casi R\$ 5 mil millones y comprometen un área de 521.000 hectáreas.

**FIGURA 12:** ENSAYOS A CAMPO DE LOS EVENTOS DE CAÑA DE AZÚCAR DESARROLLADOS POR LA EMPRESA CTC DE BRASIL.



El desarrollo de la caña de azúcar transgénica de CTC refleja los avances tecnológicos del sector azucarero y energético brasileño y con la adopción de estos eventos genéticamente modificados los productores tienen la posibilidad de aumentar la rentabilidad de sus producciones con reducción de uso de insecticidas y consecuente beneficio económico y ambiental.

## 10.6

# Eucalipto con aumento de la productividad y eucalipto tolerante a glifosato

La empresa brasileña FuturaGene Group, desarrolló el primer eucalipto modificado genéticamente H421 con aumento de la productividad por aumento volumétrico de la madera y que fue aprobado en Brasil en 2015. Este producto fue obtenido mediante la introducción de un gen de *Arabidopsis thaliana*, que codifica una enzima involucrada en la biosíntesis de la pared celular de la planta. La expresión de esta enzima se traduce en un crecimiento acelerado que permite obtener significativamente más madera que el eucalipto convencional y, por lo tanto, reduce potencialmente la huella de nuestros bosques, generando múltiples beneficios económicos y ambientales. En 2021 y 2022, Suzano, una empresa brasileña de la que FuturaGene es subsidiaria, aprobó dos eventos de eucaliptos genéticamente modificados tolerantes al glifosato, 751K032 y 955S019 en Brasil. La tolerancia al glifosato en ambos eventos está condicionada por el gen cp4-epsps, presente en varios eventos en otras especies vegetales.

**FIGURA 13:** DESARROLLO EN INVERNÁCULO Y A CAMPO DE LOS EVENTOS DE EUCALIPTUS DE LA EMPRESA FUTURAGENE DE BRASIL



## 10.7

# Soja tolerante a imidazolinonas

El evento CV127 fue obtenido por Embrapa y Basf y aprobado por primera vez en 2009 en Brasil y es tolerante a los herbicidas del grupo de las imidazolinonas. A pesar de la aprobación en otros 20 países, este evento aún no ha entrado en producción comercial. Fue producido por biolística y posee el gen *csr1-2*, que codifica la enzima acetohidroxiácido sintasa (AHAS) que actúa en el primer paso de la síntesis de aminoácidos de cadena ramificada (valina, leucina e isoleucina) en plantas y microorganismos. La inhibición de la actividad de la enzima AHAS por la unión de imidazolinona promueve la muerte celular debido a la incapacidad de las células vegetales para producir estos aminoácidos, esenciales para la síntesis de proteínas, además de otros derivados de aminoácidos esenciales para otras vías metabólicas.

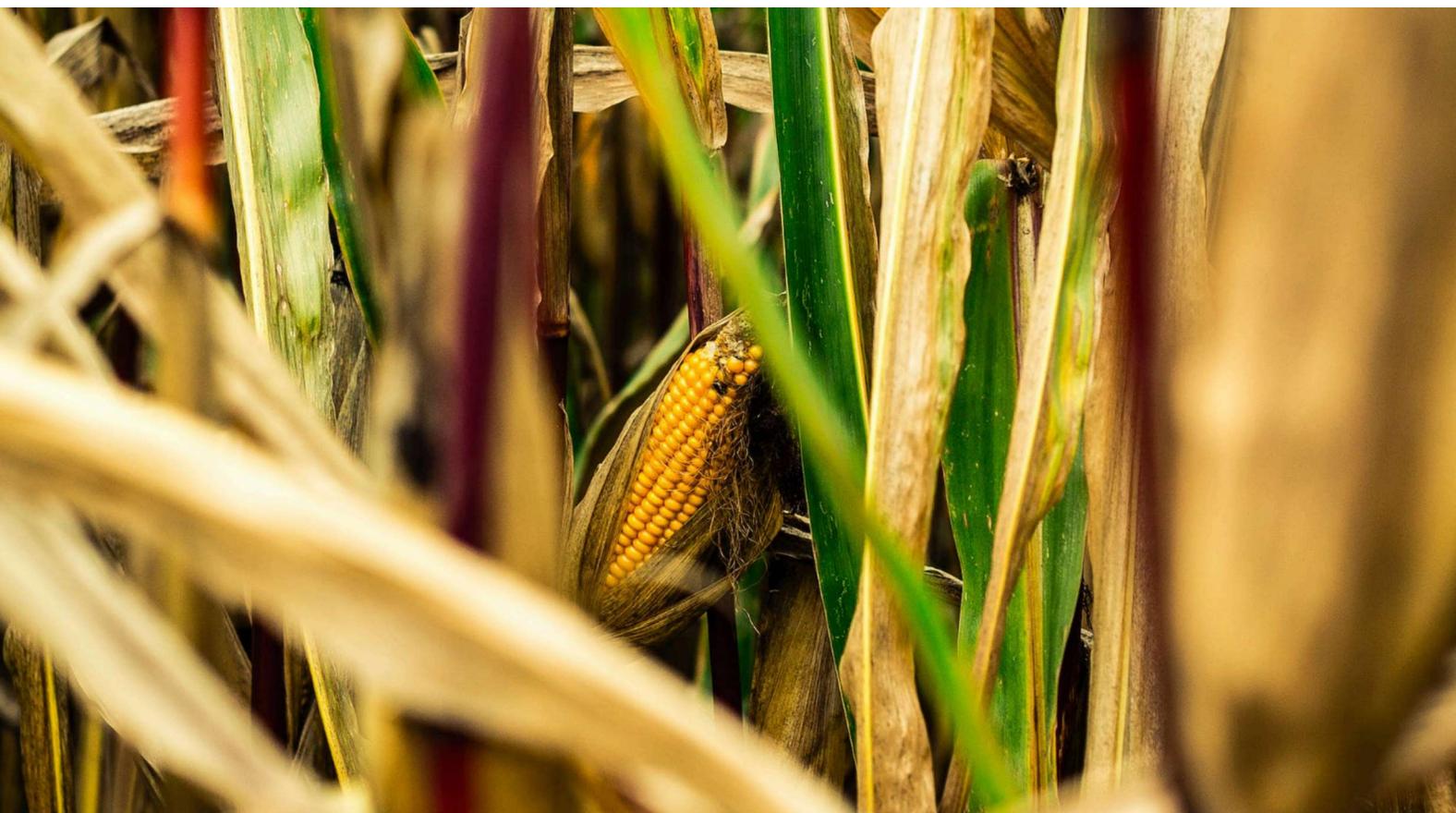
## 10.8

### Maíz resistente a lepidópteros

**FIGURA 14:** MAÍZ EH -BRS913-2 PLANTADO EN UN ÁREA DE DEMOSTRACIÓN, SIENDO PRESENTADO A LOS PRODUCTORES BRASILEÑOS



El maíz EH -BRS913-2 o BT Max fue desarrollado por Embrapa en colaboración con Helix, una empresa brasileña de mejoramiento de maíz. Posee el gen *bar*, que confiere tolerancia al glufosinato de amonio, y el gen *cry1Da*, que confiere resistencia a insectos. A pesar de tener un efecto sobre una amplia gama de *Leipdoptera*, el gen *cry1Da* confiere un efecto muy fuerte sobre *Spodoptera frugiperda*. Este insecto es la principal plaga del maíz en Brasil y en varios otros países y logró romper la resistencia conferida por casi todos los genes disponibles en el mercado hasta entonces. Está en proceso de desregulación global.



## 11.

# Otros desarrollos que se encuentran en etapa experimental en la región del CAS

---

En los países del CAS, las instituciones públicas y privadas vienen realizando un enorme esfuerzo participando en proyectos de desarrollo de nuevos OGM en el campo vegetal animal y de microorganismos, tanto para aplicaciones en agricultura como en alimentación, salud y energía.

Investigadores muy calificados trabajan en el desarrollo de cultivos transgénicos, algunos de los cuales ya se comercializan como se mostró anteriormente y otros se encuentran en etapas de desarrollo muy avanzadas o en un estadio preliminar.

Entre los proyectos de biotecnología vegetal en etapa avanzada de desarrollo se pueden mencionar: Algodón resistente al picudo del algodón (Anthonomus grandis) desarrollado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA-Argentina).

Caña de azúcar tolerante a herbicidas desarrollada por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes (EEAOC) y la Chacra Experimental Agrícola Santa Rosa- Argentina; y también eventos de caña desarrollados por el Centro de Tecnología Canavieira del Brasil.

Lechuga con resistencia a virus y alto contenido de folato desarrollada, el ricino sin la toxina ricina, la soja con tolerancia a stresses abióticos, todos desarrollados por Embrapa - Brasil.

Caña de azúcar con aumento de biomasa para la producción de etanol de segunda generación, producida por la empresa Granbio - Brasil.

La Tabla 7 muestra algunos ejemplos de proyectos en estado preliminar de investigación en cereales, forestales, frutales, oleaginosas y pasturas.

**TABLA 7: DESARROLLO DE OGM EN ETAPA EXPERIMENTAL EN LA REGIÓN DEL CAS**

<b>CULTIVO</b>	<b>CARACTERÍSTICA</b>
Papa	Resistencia a Bacterias Resistencia a Hongos Calidad-pardeamiento Resistencia a Virus PVX-Resistencia PLRV Resistencia a estrés abiótico
Trigo	Pefil nutricional Estrés abiótico Captación de fósforo
Alfalfa	Herbicida Estrés abiótico
Maíz	Estrés abiótico Estrés abiótico-anegamiento
Algodón	Tolerancia a plaga- Picudo algodonero ( <i>Anthonomus grandis</i> ) Resistencia a mosca blanca
Caña de azúcar	Resistencia a Virus Herbicida-Glifosato Resistencia a plagas-gorgojo <i>Sphenophorus levis</i> Estrés abiótico (sequía) Baja lignina alta sacarosa Resistencia a plaga- <i>Diatraea saccharalis</i> Tolerante a herbicida-imidazolinona
Durazno	Calidad Resistencia a virus
Tomate	Estrés abiótico Mejoramiento nutricional Resistencia a insectos
Girasol	Resistencia a Hongos
Uva	Estrés abiótico y biótico
Soja	Tolerancia a Herbicida Estrés abiótico
Paspalum	Estrés abiótico
<i>Chloris gayana</i>	Estrés abiótico
Festuca	Herbicida

**CULTIVO****CARACTERÍSTICA**

Naranja	Estrés biótico- Xylella Chlorosis variegada de los cítricos (CVC) Estrés biótico- Huanglongbing (HBL)-Candidatus Liberibacter spp Resistencia a Virus
Lechuga	Resistencia a Virus Resistencia a Hongos Alto folato
Vigna unguiculata	Tolerancia a Herbicidas -Imazapir Resistencia a virus-Carlavirus
Café	Nutricional- Bajo contenido cafeína
Vid	Estrés biótico-hongos y virus Calidad Sin semillas
Citrus	Estrés abiótico-Salinidad
Manzana	Calidad-dulzor Estrés biótico-Resistencia a hongos Nutricional-biofortificada (vit A)
Cereza	Madurez y resistencia a enfermedades
Melón	Resistencia a virus
Ciruelo	Resistencia a virus Resistencia a insectos
Eucaliptus	Resistencia a hongos Tolerancia a frío Resistencia a lepidopteros Estrés hídrico y térmico
Canola	Biofortificada (carotenos)
Poroto	Resistencia a mosca blanca
Ricino	Sin síntesis de la toxina ricina

## 12.

# Nuevas técnicas de mejoramiento (NBT)

---

Desde la comercialización del primer producto obtenido de una planta transgénica, el avance científico en biología molecular y secuenciación ha permitido desarrollar nuevas tecnologías que pueden tener aplicaciones importantes en la mejora genética de plantas. Estas técnicas que en su conjunto se denominan nuevas técnicas de mejoramiento (NBT, por su sigla en inglés) permiten realizar cambios específicos en el ADN de los organismos para modificar sus rasgos, y estas modificaciones pueden ser desde una alteración de una sola base hasta la inserción o eliminación de uno o más genes.

Entre las nuevas técnicas de mejoramiento genético vegetal podemos mencionar: mutagénesis dirigida por oligonucleótidos (ODM, por su sigla en inglés), edición génica, metilación dependiente de RNA (RdDM, por su sigla en inglés), injertos en pie transgénicos, mejoramiento inverso, agroinfiltración, cisgénesis y transgénesis. De todas ellas, la edición génica es la técnica más usada por su conveniencia y versatilidad para ser aplicada con éxito en el mejoramiento genético de los organismos vegetales y animales.

La edición génica es un grupo de tecnologías que permiten la intervención precisa de los nucleótidos en el ADN de un organismo utilizando nucleasas específicas de ADN o Site Directed Nucleases (SDN), orientadas por una guía proteica (ZFN, TALEN) o de ARN Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (CRISPR) que provoca cortes en la doble cadena de ADN de manera específica en un sitio predefinido del genoma gracias a su capacidad de reconocer secuencias específicas. Estos cortes son reparados por la propia maquinaria celular resultando en un cambio en una sola base hasta la eliminación, reemplazo o reorganización estructural de una gran región genómica. De esta manera se pueden obtener mutaciones en sitios específicos del genoma. Tales cambios podrían ser idénticos o comparables a mutaciones espontáneas u obtenerse a través de la inducción de mutagénesis convencional. En otros casos, los cambios podrían estar dados por la introducción de ADN no disponible previamente en el acervo genético natural de la especie a modificar y, por lo tanto, podría introducir nuevos rasgos. En resumen, a través de edición génica se pueden generar mutaciones aleatorias o específicas en un sitio predefinido del genoma hasta la incorporación de una secuencia en un sitio predefinido del genoma.

De las nucleasas que se utilizan para generar edición génica se destacan las CRISPR/Cas que constituyen un método altamente flexible y fácil de adaptar con el que se puede cortar específicamente cualquier secuencia sintetizando un RNA guía complementario. El sistema CRISPR/Cas9 está basado en un sistema de inmunidad adaptativa de las bacterias, presente en el 40 % de los genomas bacterianos y en el 90 % de los genomas de las arqueas, que le permite defenderse de agentes externos como bacteriófagos y plásmidos. Así, una bacteria sobrevive al ataque de un bacteriófago, parte del DNA que el virus inyecta en la célula es incorporado al genoma de la bacteria como una memoria de la infección, y posteriormente es utilizado por la misma para defenderse de futuras infecciones. Este mecanismo fue descubierto en 2011 y adaptado para ser usado como tecnología en mejoramiento de los organismos.

El descubrimiento del método de edición del genoma denominado CRISPR/Cas9 fue realizado por las investigadoras Emmanuelle Charpentier y Jennifer A. Doudna, quienes fueron las ganadoras del Premio Nobel de Química 2020 por el desarrollo de esta revolucionaria tecnología para la ciencia.

Para la selección de las secuencias genéticas cuyo cambio de expresión tendrá un impacto deseado en el fenotipo del organismo, son requisito previo los avances en la secuenciación de genomas de importancia agropecuaria junto con la identificación de los genes, sus funciones y regulaciones. Por otro lado, y al igual que en la transgénesis, los cambios por edición génica se realizan en el ADN de una célula, por ello, es necesario contar con un procedimiento de cultivo in vitro para regenerar una planta completa a partir de esa célula. Asimismo, es fundamental contar con un método rápido y efectivo de identificación de las plantas regeneradas cuyo genoma ha sido editado. En los animales en cambio la edición génica se realiza a través de microinyecciones en óvulos o en los primeros estadios embrionarios de embriones que luego son implantados.

Ejemplos de desarrollos en animales por edición génica van desde la obtención de rasgos como ausencia de cuernos en ganado, mayor ganancia de peso y tamaño en menos tiempo en tilapia, resistencia a coronavirus en cerdos, leche de mejor calidad nutricional (con mayor proporción de ácido linoleico conjugado y de proteínas beneficiosas para la salud humana), o con inhibición en la secreción de proteínas alergénicas como la  $\beta$ -lactoglobulina (Lee, Uh et al., 2020).

La edición génica constituye un avance significativo en las tecnologías de modificación genética de animales que proporciona el potencial de mover rasgos entre razas, en una sola generación, sin impacto en productividad existente o para desarrollar nuevos fenotipos que abordan enfermedades. Mediante esta técnica se obtiene aumento de la variabilidad genética animal reduciendo drásticamente los tiempos del mejoramiento con un menor costo y mayor accesibilidad que la tecnología de transgénesis o más rápida que lo logrado hasta ahora por cría selectiva (Proudfoot et al., 2020).

Respecto a desarrollos de edición génica en cultivos se tienen proyectos orientados al beneficio del consumidor como mejora de la calidad nutricional y control del pardeamiento en papa, manzanas, caña de azúcar y vid, o disminución de compuestos anti-nutricionales en soja y de papa. En los distintos países de la región se está trabajando en proyectos con foco en la sostenibilidad ambiental en soja, papa, arroz, frijol, sorgo, maíz y pasturas para eficiencia de uso del agua y resistencia a la sequía; así como en el incremento de la resistencia a enfermedades fúngicas en soja, trigo, arroz y especies forrajeras, desarrollos que impactarán positivamente en una disminución de fungicidas. Además, en cultivos de reproducción agámica como la papa, el banano, la yuca, la caña de azúcar o la vid, la utilización de la edición génica puede modificar sustancialmente el esquema de los programas de mejoramiento, ya que permite realizar mejoras incrementales sobre genotipos élite.

La figura 14 resume la diversidad de especies sobre las que se han desarrollado o existen proyectos experimentales de edición génica en animales y vegetales a nivel mundial para obtener mejoras que respondan a los desafíos del cambio climático. Muchas de estas mejoras se caracterizan por rasgos como resistencia a las enfermedades, mejoras nutricionales, tolerancia al estrés abiótico y aumento de rendimiento, entre muchas otras tantas aplicaciones.

## FIGURA 15: RESUMEN DE INNOVACIONES POR EDICIÓN GÉNICA A NIVEL MUNDIAL

01. Lista de eventos de cultivos/Base de datos de aprobación | ISAAA.org



A) Recuento de innovaciones en cultivos y animales por año desde 2009, B) Proporción de la innovación por edición génica: B- en animales vs plantas, C) por tipo de cultivo, D) por tipo de animal. Fuente: Karavolias NG, et al. (2021).

Latinoamérica, y en particular los países del CAS, también han fomentado la adopción de nuevas tecnologías de mejoramiento genético que incluyen la edición génica y que se presentan como nuevas herramientas para incrementar la producción agroalimentaria de forma sostenible con mayor eficiencia en el uso de los recursos, valor agregado y calidad de los productos. En este sentido también han liderado el establecimiento de criterios para evaluar y regular los productos que se obtienen de la aplicación de las NBT.

En 2015, Argentina estableció la primera normativa en el mundo que define específicamente cómo se regulan los cultivos desarrollados utilizando técnicas de edición de genes. Fue seguida por Chile, Brasil y Paraguay, los cuales junto con Argentina disponen de un marco jurídico definido y operativo para las nuevas tecnologías de mejoramiento y convergen en compartir el punto de vista sobre la edición génica, especialmente en la noción de que muchos productos genéticamente editados (o simplemente editados) no deben ser regulados como OGM. Por su parte, Uruguay, aunque aún no tiene reglamentaciones específicas para productos resultantes de técnicas de edición de genes, se ha mostrado alineado a los países del CAS como Paraguay, Brasil y Argentina que tienen un marco regulatorio definido, en camino a establecer sus propias normativas en línea con los países de la región.

El proceso de análisis busca determinar y diferenciar de forma previsible, si el producto constituye un OGM o, si por el contrario, no constituye un OGM, dependiendo de si contiene o no secuencias o genes insertados. Así, una vez que la entidad desarrolladora presenta la consulta, la autoridad regulatoria se expide concluyendo si el producto está exento de la regulación que rige para los OGM o no. Es importante destacar, que los productos editados genéticamente son evaluados caso por caso por la autoridad regulatoria.

En Argentina, en el marco de un proceso de consulta previa, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIA) analiza si el producto está sujeto a las regulaciones que rigen para OGM (transgénicos). Para tal fin considera: a) las técnicas utilizadas en el proceso; b) el cambio genético en el producto final; y c) la ausencia de un transgén en el producto final. De este modo, los productos se clasifican en GM o no GM; en caso de considerarse no GM, su manejo es como cualquier producto obtenido mediante técnicas de mejoramiento convencional.

En Brasil, para decidir si el organismo está sujeto a la regulación de los OGM se somete al análisis de la Comisión Técnica Nacional de Bioseguridad (CTNBio) que, frente a un procedimiento de consulta previa por parte del solicitante, decide si el producto u organismo es o no un OGM. El procedimiento de consulta se realiza caso por caso y básicamente toma en cuenta la misma información requerida por CONABIA.

En 2018, los ministros del CAS (Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay) presentaron una declaración ante la Organización Mundial del Comercio (OMC) en la que reconocieron que a través de la edición génica se pueden crear cultivos similares a los obtenidos a través de otros métodos convencionales de mejoramiento y que esta nueva técnica permite abordar los desafíos de la producción agrícola para aumentar la oferta de alimentos y otros productos agrícolas de manera sostenible. En tal sentido, declararon el compromiso para intercambiar información sobre el desarrollo de los productos y las regulaciones aplicables entre los países y explorar oportunidades para la armonización de normas, para evitar barreras comerciales no basadas en la ciencia a los productos agrícolas mejorados por edición génica y evitar distinciones arbitrarias e injustificables entre los cultivos desarrollados a través de la edición génica y los cultivos desarrollados a través del mejoramiento convencional. En la misma línea Uruguay, Argentina, Australia, Brasil y Estados Unidos, entre otros países, hicieron otra declaración conjunta ante la OMC que promovía regulaciones menos rígidas para la edición génica quedando así confirmado el respaldo e incentivo a los desarrollos por edición génica.

Asimismo, en marzo de 2022, los ministros de los países del CAS, con sustento en sus más de 20 años de experiencia en la evaluación y análisis de riesgo de organismos genéticamente modificados, hicieron una declaración sobre la necesidad de llevar adelante un enfoque basado en la ciencia para la regulación de estas nuevas tecnologías de mejoramiento, para evitar de esta manera normativas que puedan afectar de forma injustificada o arbitraria el comercio internacional de los productos agroalimentarios y generar perjuicios a los países productores y exportadores, en especial a los países en desarrollo, como los de la región del CAS. En dicha declaración se comprometieron a implementar y propiciar mecanismos de financiamiento, inversiones en nuevas tecnologías e innovaciones orientadas a incrementar la productividad de forma sostenible, favoreciendo la transferencia de tecnología y la creación de capacidades.

A continuación, en la tabla 8, se presentan algunos casos analizados con nuevas técnicas de mejoramiento, presentados en las agencias regulatorias en los países de la región del CAS en plantas, animales y microorganismos.

## TABLA 8: DESARROLLOS Y PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DE EDICIÓN GÉNICA EN LA REGIÓN DEL CAS

02. Posición de los ministros de agricultura para la XII Conferencia Ministerial de la OMC, 2021.  
<http://consejocas.org/wp-content/uploads/2021/11/Declaraci%C3%B3n-CAS-copia-1.pdf>

### ARGENTINA

---

#### Productos/Investigación en plantas

Papas que no se pardean: El Instituto de Tecnología Agropecuaria de Argentina (INTA) utilizó CRISPR para desarrollar papas que no se vuelven marrones. Las pruebas de campo comenzaron en 2020.

Alfalfa de mayor calidad: El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) está utilizando CRISPR para desarrollar alfalfa más productiva y de mayor calidad.

#### Productos/Investigación en animales

Leche hipoalérgica: El INTA utilizó técnicas de edición de genes para desarrollar terneros que producen leche que no contenía los genes de las proteínas que causan reacciones alérgicas.

Cerdos editados para uso en Xenotrasplante: evitaría la respuesta de rechazo hiperinmune en posibles trasplantes de órganos de cerdos a humanos.

### BRASIL

---

#### Productos/Investigación en plantas

Tomate picante: La Universidad Federal de Viçosa desarrolló un tomate que expresa capsaicinoides, los compuestos que dan el sabor picante a los pimientos.

Soja resistente a los nematodos: La empresa brasileña Tropical Melhoramento & Genética y la israelí Evogene colaboraron para desarrollar una soja resistente a nematodos que destruye los cultivos y disminuye los rendimientos de los cultivos.

Maíz "ceroso": Se presentó una solicitud a CTNBio para maíz editado genéticamente con almidón adicional.

Soja con menor contenido de rafinosa y estaquiosa: obtenida por GDM, produce semillas con menor contenido de ambos azúcares. Debe proporcionar menos emisión de metano por parte de los animales monogástricos que las utilizan en la alimentación.

Soja más tolerante al estrés hídrico: una producida por GDM y otra por Embrapa, ambas utilizando Crispr/Cas.

Soja con menor contenido de lecitina: producida por Embrapa para aumentar la digestibilidad y el aprovechamiento de los nutrientes de la soja por los animales.

Caña de azúcar para la producción de etanol de segunda generación: tres cañas de azúcar con paredes celulares más accesibles a las enzimas celulolíticas que favorecen la producción de etanol de segunda generación.

### **Productos/Investigación en microorganismos**

Levadura para la producción de biocombustibles: Se han presentado varios proyectos ante la CTNBio para levaduras editadas genéticamente que se pueden utilizar para la producción de etanol y bioetanol. Diversas especies de microorganismos para a produção de dsRNA para o controle de insetos pragas em plantas (hemípteros e lepidópteros).

### **Productos/Investigación en animales**

Deleción de genes de beta-lactoglobulina en bovinos, para reducir la alergenicidad de la leche, en desarrollo por Embrapa y la Universidad de Edimburgo.

Mutaciones en receptores de prolactina en bovinos, para aumentar tolerancia a estreses abióticos, particularmente calor, en desarrollo en Embrapa.

Mutaciones en genes asociados al aumento de la producción de leche, siendo realizadas en ganado cebú (*Bos indicus*), por Embrapa.

Cerdos editados para uso en Xenotrasplante, mediante el silenciamiento de genes que podrían causar respuestas hiperinmunes y el consiguiente rechazo de los órganos de cerdos trasplantados a humanos, en desarrollo por Universidad de São Paulo y la empresa Xeno Brasil.

## **URUGUAY**

---

### **Productos/Investigación en plantas**

Soja tolerante a herbicida: Investigadores de la Universidad de la República (UDELAR) y del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) utilizaron CRISPR para desarrollar soja resistente al glifosato.

Soja con grano de mayor calidad: Investigadores de INIA y UDELAR utilizaron edición génica en soja para incrementar la calidad del grano editando los genes aglutinina y estaquiosa sintasa, como parte de un proyecto regional en el que participan también investigadores de Argentina (INTA, Facultad de Agronomía – UBA y Asociación de Cooperativas Argentinas), Chile (INIA), Brasil (EMBRAPA), Paraguay (IPTA), Colombia (Agrosavia) y Ecuador (INIAP).

Soja más saludable: Investigadores de la UDELAR y del INIA utilizaron CRISPR para reducir las lectinas en la soja, lo que puede interferir con la capacidad del cuerpo para absorber nutrientes.

Forrajera con mayor digestibilidad: Investigadores de INIA utilizaron CRISPR en la forrajera nativa *Paspalum notatum* con el fin de aumentar su digestibilidad.

Frutas y verduras más saludables: Investigadores de INIA y la UDELAR utilizaron CRISPR para desarrollar mandarina y tomate con alto contenido de licopeno en la pulpa, un antioxidante.

### **Productos/Investigación en animales**

Ovejas con más músculo: Investigadores del Instituto Pasteur de Montevideo utilizaron CRISPR en 2015 para eliminar un gen en ovejas que les permitió desarrollar músculos más grandes obteniendo una oveja de doble propósito en producción de carne y calidad de lana.

Control de la bichera: Investigadores de INIA desarrollan linajes editados con la tecnología CRISPR para su aplicación en el programa nacional de supresión de las poblaciones silvestres de esta especie plaga (Gusano Barrenador del Ganado - *Cochliomyia hominivorax*).

## 13.

# Beneficios socioeconómicos de los cultivos OGM

---

La comercialización de cultivos transgénicos (OGM) se ha producido a un ritmo acelerado desde mediados de la década de 1990 en que se sembró el primer organismo genéticamente modificado, la soja tolerante a glifosato conteniendo el evento GTS 40-3-2, con cambios importantes tanto en el nivel general de adopción como en el impacto en la economía de los productores.

De acuerdo con el último informe publicado por el ISAAA, alrededor de 17 millones de agricultores, en su mayoría de países en desarrollo, adoptaron cultivos biotecnológicos debido a la mejora de sus condiciones socioeconómicas. Durante los 22 años, que se sucedieron entre 1996 y 2018, las ganancias económicas mundiales de los cultivos biotecnológicos alcanzaron los 224.900 millones de dólares. El 48 % de estos beneficios han tenido como destino a los agricultores de países desarrollados y el 52 % a los agricultores de los países en desarrollo. El 65 %, aproximadamente, de las ganancias se generan por rendimiento y producción, en tanto, el 35 % restante proviene de ahorros de costos (ISAAA, 2019). Además, en igual período de tiempo, los cultivos biotecnológicos también contribuyeron significativamente a la seguridad alimentaria, el desarrollo sostenible y la mitigación del cambio climático: la productividad de los cultivos aumentó 822 millones de toneladas; se salvaron 231 millones de hectáreas de tierra conservando la biodiversidad; se evitó que 776 millones de kg de plaguicidas se liberen creando un medio ambiente más seguro; la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> fue de 23.000 millones de kg, lo que equivale a retirar 15.3 millones de automóviles de la carretera durante un año (2018); y se alivió la pobreza elevando la situación económica de 16 a 17 millones de pequeños agricultores y sus familias por un total de más de 65 millones de personas (2018).

La biotecnología ha hecho importantes contribuciones al aumento de los niveles de producción mundial de los principales cultivos: soja, maíz y algodón, habiendo agregado 213 millones de toneladas y 405 millones de toneladas, respectivamente, a la producción mundial de soja y maíz desde la introducción de la tecnología (ISAAA, 2019).

Diferentes informes muestran cómo la utilización de la biotecnología moderna aplicada a la mejora de los cultivos ha beneficiado tanto a productores como a los consumidores al aumentar la productividad contribuyendo a la seguridad alimentaria facilitando el suministro de alimentos, forrajes y fibra; a mitigar los efectos adversos asociados con el cambio climático; y a mejorar los beneficios económicos, sanitarios y sociales de los países productores. Es destacable la disminución en el uso de insecticidas asociado al uso de cultivos resistentes a insectos con el consecuente beneficio para el ambiente, la exposición de los productores y disminución de costos. También se resaltan los beneficios en términos nutricionales con cultivos de mejor calidad como, por ejemplo, canola y soja con aceites modificados.

Las mayores ganancias en los ingresos agrícolas en 2018 han surgido en el sector del maíz, en gran parte de las ganancias de rendimiento. Acumulativamente desde 1996, la tecnología de resistencia a insectos ha agregado \$59.5 mil millones a los ingresos de los agricultores mundiales de maíz. También han surgido ganancias sustanciales en el sector del algodón a través de una combinación de mayores rendimientos y menores costos. En 2018, los niveles de ingresos de los cultivos de algodón en los países que adoptaron transgénicos aumentaron en \$4.57 mil millones y desde 1996, el sector se ha beneficiado de \$65.8 mil millones adicionales. Las ganancias de ingresos de 2018 equivalen a agregar un 13% al valor de la cosecha de algodón en estos países, o un 11.2 % al valor de \$36 mil millones de la producción mundial total de algodón. Se trata de un aumento sustancial en términos de valor añadido para dos tecnologías de semillas de algodón.

En soja y canola también han tenido lugar aumentos significativos de los ingresos agrícolas. La tecnología tolerante a herbicidas transgénicos en soja ha aumentado los ingresos agrícolas en \$4.78 mil millones en 2018 y, desde 1996, ha entregado \$64.2 mil millones de ingresos agrícolas adicionales. El sexto año de adopción de la soja 'Intacta' (que combina los rasgos tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos en América del Sur también proporcionó \$2.72 mil millones de ingresos agrícolas adicionales).

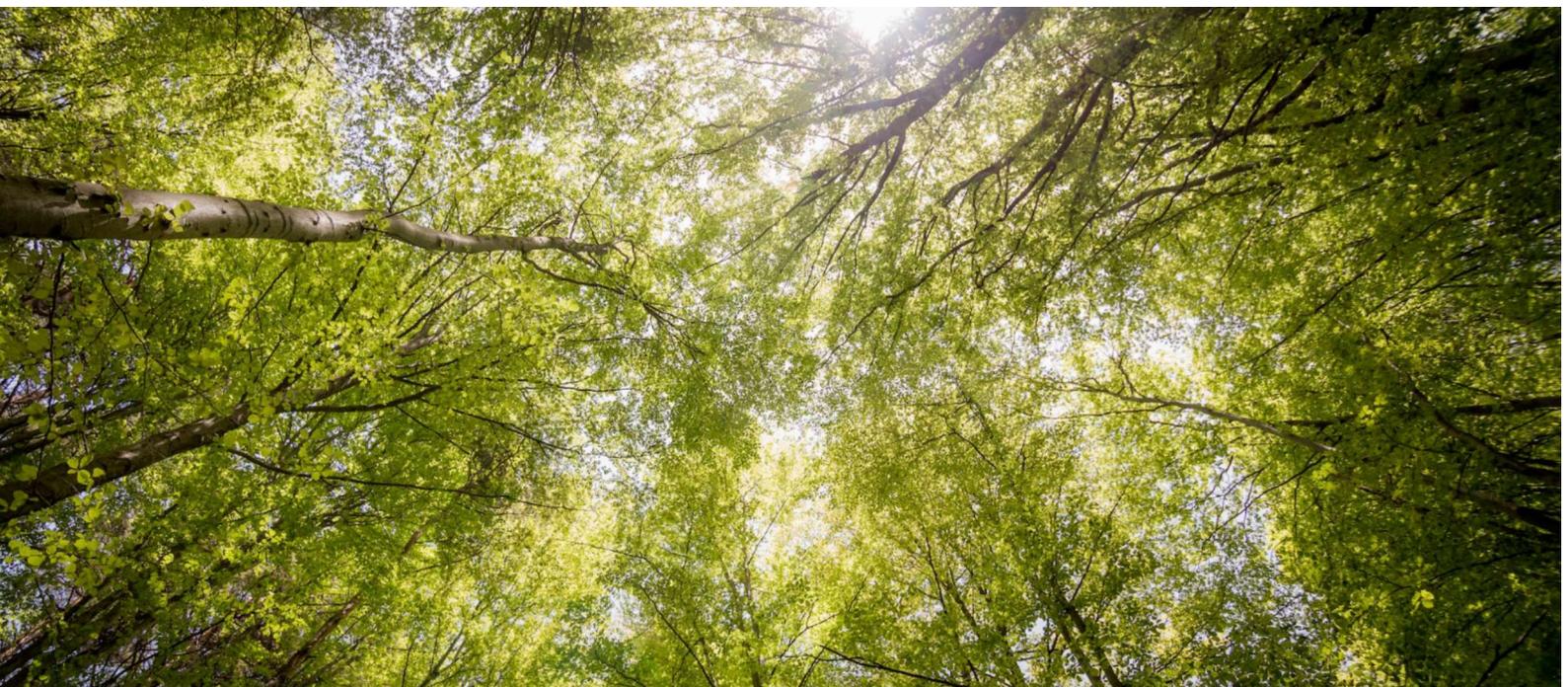
En la región del CAS, la implementación de los cultivos OGM resultó en un incremento de los rendimientos, reduciendo costos de producción y aumentando la rentabilidad de la producción primaria. Además, los cultivos transgénicos usados en alimentación animal han beneficiado al sector ganadero, ya que cuentan con mayores rendimientos en la producción y con cultivos de mejor calidad y seguridad, la consecuencia fue el aumento de la disponibilidad de los ingredientes para los piensos con que se alimenta al ganado. En particular en Argentina, por ejemplo, en el período comprendido entre 1996 y 2020 la rentabilidad de los cultivos GM superaron comparativamente a los cultivos convencionales siendo de 29,1 USD/ha para la soja, 35 USD/ha en maíz y 217 USD/ha en algodón. En este mismo período la adopción de cultivos GM ha reportado beneficios brutos acumulados de USD 159 mil millones, de los cuales el 92% corresponden a la soja, un 7% al maíz y el resto al algodón (Tejeda et al.2021).

A través de su larga historia de uso, la biotecnología agrícola ha aportado beneficios comprobados, contribuyendo al desarrollo de los países de Latinoamérica. Los cultivos transgénicos han traído mayores ingresos a los países que los siembran, beneficiando no solo a los agricultores y a sus familias, sino también a toda la sociedad. Además, los cultivos transgénicos han contribuido a proteger al ambiente, ya que su adopción resulta en una mayor productividad, con la consecuente reducción de la necesidad de expandir la superficie agrícola, y en una disminución en el uso de plaguicidas. En varios países, la adopción de los cultivos transgénicos ha fomentado la adopción del sistema de siembra directa, una práctica que contribuye a la preservación del suelo y al incremento de la eficiencia del uso del agua. Estas dos tecnologías juntas permiten acotar los tiempos entre cultivos, contribuyendo a ser más eficientes en las rotaciones y, adicionalmente, ahorrar en el uso de combustibles fósiles y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Por otra parte, los cultivos GM han permitido mitigar significativamente el impacto de la producción primaria en el medio ambiente, tanto por la menor utilización de agroquímicos, como por favorecer la implementación de la siembra directa la cual permite un menor uso de combustibles y un aumento de la tasa de carbono secuestrado en el suelo. Durante el período 1996-2018, la reducción permanente acumulada a nivel mundial en el uso de combustible se estima en 34.171 millones de kg de dióxido de carbono (derivada de la reducción del uso de combustible de 12.799 millones de litros).

El sistema de producción basado en siembra directa ha aumentado significativamente con la adopción de cultivos GM tolerante a herbicidas esta tecnología ha mejorado la capacidad de los agricultores para controlar las malezas competidoras. Como resultado, se reduce el uso de combustible de tractor para la labranza, se mejora la calidad del suelo y se reducen los niveles de erosión del suelo. A su vez, queda más carbono en el suelo y esto conduce a menores emisiones de gases de efecto invernadero. Sobre la base de los ahorros derivados de la rápida adopción de los sistemas de cultivo con siembra directa y cultivos GM en América del Norte y del Sur, se estima que se secuestraron 5.608 millones de kg adicionales de carbono del suelo en 2018 (equivalente a 20.581 millones de kg de dióxido de carbono que no se ha liberado a la atmósfera global). Un informe de los 25 años de cultivos GM en Argentina muestra que la adopción de esta tecnología y la siembra directa permitieron incrementar el carbono secuestrado del ambiente en 121.1 millones de toneladas en el acumulado de las 25 campañas. Más impactante aún, la introducción de esta tecnología evitó volcar al ambiente más de 18 mil millones kg de carbono equivalente al consumo anual de 3.9 millones de autos (Tejeda et al.2021)..

Con respecto a los impactos económicos y sociales derivados del uso de transgénicos en Brasil, un estudio publicado por Croplife en 2020, informa sobre los 20 años de transgénicos en Brasil (1998 a 2018), y menciona que el uso de transgénicos en cultivos de soja, maíz y algodón en Brasil inyectaron un valor adicional de R\$ 45.3 mil millones en la economía e impactaron el PIB en R\$ 2.8 mil millones. En la recaudación tributaria, los resultados obtenidos por el uso de la biotecnología provocaron un aumento de R\$ 731 millones. Además, se estima que el volumen adicional producido de soja, maíz y algodón representó 16,7 millones de toneladas más para exportar y generó reservas cercanas a los US\$ 3.800 millones. La creación de 49.281 puestos de trabajo correspondió a R\$ 2.2 mil millones pagados en salarios. Además, el estudio muestra que hubo una reducción de las pérdidas por el ataque de plagas y la consecuente mejora en la productividad de los cultivos transgénicos también se tradujo en un ahorro de superficie sembrada de 9.9 millones de hectáreas. Eso equivale a toda el área de soja sembrada en Mato Grosso en la última zafra. El menor uso de combustibles fósiles sumado al ahorro de área permitió evitar la emisión de 26.5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, lo mismo que la siembra de 189 millones de árboles nativos.



## 14.

# Conclusiones

---

Los avances en el conocimiento de la biología y genética con la secuenciación de genomas y adopción de técnicas de mejoramiento y el camino recorrido luego de más de 26 años de utilización de la biotecnología moderna aplicada a la mejora de los cultivos, animales, microorganismos y procesos de producción da cuenta de los beneficios tanto a productores como a los consumidores. Existen numerosas y claras evidencias de aumento de productividad y calidad contribuyendo a la seguridad alimentaria facilitando el suministro de alimentos, forrajes y fibra, mitigando efectos adversos asociados con el cambio climático, y con grandes beneficios económicos, sanitarios y sociales de los países productores. Asimismo, es destacable el beneficio ambiental dado por la disminución en el uso de combustibles y plaguicidas como también la reducción de emisión de gases de efecto invernadero y aumento de secuestro de carbono asociado al uso de cultivos OGM, buenas prácticas agrícolas como la siembra directa y uso de la agricultura digital que permite planificar y hacer un mejor uso de los recursos. Actualmente, el mundo se enfrenta a enormes desafíos para erradicar el hambre, mejorar la nutrición, reducir las pérdidas y el desperdicio de alimentos y encontrar nuevas formas de aumentar de manera sostenible la producción agrícola preservando y mejorando los servicios ecosistémicos y la biodiversidad. El “Informe sobre el estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2022” que realizó la FAO, menciona que en 2021 se incrementó en 150 millones la cantidad de personas que padecen hambre. El informe también menciona que “dicho incremento refleja las exacerbadas desigualdades entre los países y dentro de ellos, debido a un patrón desigual de recuperación económica entre los países y a la pérdida de ingresos no recuperadas por los más afectados por la pandemia del COVID-19”.

Asimismo, se destaca que casi 3.100 millones de personas no tuvieron acceso a una dieta saludable en 2020. Esta cantidad supera en 112 millones a la cifra de 2019, lo cual, entre otras variables, es consecuencia del incremento global en los precios de los alimentos al consumidor derivado de las repercusiones del COVID-19 y de las medidas adoptadas para contenerlo.

Según indica el informe del IICA (2021) “Impactos del conflicto en Ucrania en el comercio y la seguridad alimentaria de América Latina y el Caribe”, de la misma manera en que sucedió con la pandemia de COVID-19, los efectos del conflicto en Ucrania han colocado el tema de la seguridad alimentaria como prioridad en la agenda mundial. Considerando que ALC, en especial los países que integran el CAS, son importantes exportadores de alimentos del mundo, la región se vislumbra una vez más como uno de los pilares de la seguridad alimentaria y nutricional global. Se requiere trabajar en herramientas que permitan no solo superar la crisis, sino también prepararse para una mayor estabilidad alimentaria en todo el mundo. Esta situación se presenta como una oportunidad para transformar los sistemas agroalimentarios mundiales, aumentar la prosperidad, promover sistemas agroalimentarios sostenibles, mejorar la nutrición, conservar la biodiversidad, así como reducir la pobreza y el hambre. Esto se podrá lograr a través de la generación de una mayor confianza, para lo cual la cooperación en los ámbitos nacional, regional e internacional resulta esencial.

Sin dudas, la innovación y adopción de nuevas tecnologías son herramientas necesarias para producir mayor cantidad y mejores alimentos de forma eficiente y sostenible, reduciendo al máximo el uso de los recursos, con un menor costo energético y climático, mejores condiciones de vida, trabajo rural y accesibilidad a los alimentos. Es clave y prioritario la existencia de programas de promoción y apoyo a la ciencia, tecnología e innovación acompañados por sistemas regulatorios ágiles y con criterios armonizados que aseguren la bioseguridad de las poblaciones sin provocar barreras al progreso y permitan la rápida adopción de tecnologías en los sectores como el agropecuario.

En este escenario la aplicación en el sector agropecuario de la biotecnología, con sus continuos avances en la mejora de organismos, productos y procesos de producción, constituye uno de los caminos a seguir para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en especial erradicar la pobreza y el hambre en el mundo, así como ayudar a mitigar los efectos del cambio climático en la agricultura, producir mejores y más alimentos en menos superficie y haciendo un uso sostenible de los recursos naturales.

Latinoamérica, y en particular los países del CAS, constituye una de las regiones más ricas del mundo en recursos naturales y la principal región productora y exportadora de alimentos y la mayor proveedora de servicios ecosistémicos. Este escenario define el potencial de la región en el desarrollo, producción, comercialización y exportación de productos de alto valor agregado derivados del uso sostenible de su biodiversidad, con un rol fundamental en la sostenibilidad ambiental y en la mitigación de los efectos del cambio climático a escala mundial.

Una vez más se refuerza la importancia de políticas agrarias y ambientales, para fomentar el desarrollo integral de los países de la región y alineadas con la Agenda 2030 y la necesidad de una sólida cooperación entre los actores claves fomentando la innovación y desarrollo sostenible.

Desde el CAS existe plena conciencia y responsabilidad de que, en el contexto actual, nos enfrentamos con cambios geopolíticos planetarios, una situación internacional incierta, la amenaza de nuevas formas de relaciones comerciales, la necesidad básica de resguardar los recursos naturales y atacar los efectos causados por el cambio climático, pero por sobre todo a la necesidad de alimentar a millones de personas. Indiscutiblemente, el desarrollo y la adopción de biotecnologías vinculadas al sector agrícola serán una herramienta clave para lograr ese objetivo.

En los últimos años ha habido un aumento de instituciones públicas y privadas en los países del CAS que están desarrollando tecnologías basadas en biotecnología moderna. Este incremento refleja la gran cantidad de recursos humanos capacitados existentes en los países. El aumento de líneas de desarrollo y financiación puede dar un impulso aún mayor a los desarrollos locales, para ampliar las especies y características trabajadas con modernas herramientas biotecnológicas. También están siendo importantes acciones de cooperación en diferentes aspectos entre las agencias regulatorias de los países, como la ya firmada entre Brasil y Argentina y la cooperación que se encuentra en la fase final de discusión entre Brasil, Argentina, Paraguay y Uruguay, la cual permite que otros países puedan incorporarse. Estas acciones de cooperación pueden reducir las asincronías de aprobación, facilitando el comercio entre países, además de brindar mayor agilidad y reducir los costos regulatorios.

# Referencias bibliográficas

---

ARISTIZABALA, A. M.; CAICEDO, L. A.; MARTÍNEZA, J. M.; MORENO, M.; ECHEVERRIA, G. J. 2017. "Xenotrasplantes, una realidad cercana en la práctica clínica: revisión de la literatura". Cirugía Española. Vol. 95. Núm. 2. Páginas 62-72. DOI: 10.1016/j.ciresp.2016.12.008

BULA, A., 2020. "Importancia de la agricultura en el desarrollo socio-económico". En: Informe del Observatorio de la Universidad de Nacional de Rosario n.º 50. G.A. TESSMER Y L. A. JARA MUSURUANA (eds.). Rosario. <https://rephip.unr.edu.ar/handle/2133/18616>

CAS. 2003. Convenio constitutivo del Consejo Agropecuario del Sur. Sitio oficial. <http://consejocas.org/wp-content/uploads/2016/05/convenio-constitutivo-cas.pdf>

CAS-IICA. 2010. "Marcos Regulatorios de Bioseguridad y Situación de las Aprobaciones Comerciales de Organismos Genéticamente Modificados en los Países del CAS". Santiago. <http://consejocas.org/wp-content/uploads/2016/06/marcos-regulatorios-de-bioseguridad-y-situacion-de-las-aprobaciones-comerciales-de-ogm-en-paises-del-cas-gt5-2010.pdf>

CAS-IICA, 2022. "Anuario de Comercio Exterior de base agraria de los países del CAS 2017-2021". <http://consejocas.org/wp-content/uploads/2022/06/Anuario-de-comercio-exterior-de-base-agraria-de-los-pa%C3%Adses-del-CAS-2017-2021.pdf>

CEPAL, FAO e IICA, 2020. "Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2019-2020". San José. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45111-perspectivas-la-agricultura-desarrollo-rural-americas-mirada-america-latina>

Comisión Nacional de Bioseguridad Agropecuaria y Forestal (CONBIO). (s.f.). <https://conbio.mag.gov.py/index.php/resoluciones>

Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CNTBIO). 2015. Liberações Comerciais. <http://ctnbio.mctic.gov.br/liberacao-comercial#/liberacao-comercial/consultar-processo>

FAO, 2022. "Desafíos y oportunidades en América del Sur. Censos y encuestas agropecuarias para el cálculo de los indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible". Santiago. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/cb9694es>

IAEA, 2022. Mutant Variety Database. <https://nucleus.iaea.org/sites/mvd/SitePages/Home.aspx>

IICA, 2021 a. "El comercio internacional de productos agroalimentarios de América Latina y el Caribe y la transformación de los sistemas alimentarios". San José, Costa Rica. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/18591/BVE21088342e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

IICA, 2021 b. "Las exportaciones agroalimentarias de América Latina y el Caribe crecen 2.7% durante primer año de pandemia". Blog IICA: Sembrando hoy la agricultura del futuro. Colaboradores: Salazar E. y Arias J. <https://blog.iica.int/blog/las-exportaciones-agroalimentarias-america-latina-caribe-crecen-27-durante-primer-ano-pandemia>

IICA, 2021 c. "Impactos del conflicto en Ucrania en el comercio y la seguridad alimentaria de América Latina y el Caribe". San José. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/20724/BVE22088299e.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=En%202021%2C%20estos%20factores%20provocaron,los%20alimentos%20y%20la%20energ%C3%ADa.>

ISAAA. 2019. "Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2019". ISAAA Brief no. 55. ISAAA: Ithaca, NY.

KARAVOLIAS, N.; HORNER, W.; ABUGU, M.; EVANEGA, S. 2021. "Application of Gene Editing for Climate Change in Agriculture". Systematic Review. Vol. 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.685801>

LEE, K.; FARRELL, K.; UH, K. 2020. "Application of genome-editing systems to enhance available pig resources for agriculture and biomedicine." *Reproduction, fertility, and development* 32 2 (2019): 40-49. <https://doi.org/10.1071/RD19273>

Ministerio de Ganadería de Chile. Servicio Agrícola Ganadero. <https://www.sag.gob.cl/ambitos-de-accion/organismos-geneticamente-modificados-ogm>

Normativa de Bolivia. Decreto Supremo N° 24676, 21 de junio de 1997. <https://www.lexivox.org/norms/BO-DS-24676.html>

NU, 1992. Convenio sobre la Diversidad Biológica. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>

OECD ,2018. "The Future of Farming 4.0: The digitalisation of agriculture". En: The OECD Forum Network ([oecd-forum.org](http://oecd-forum.org))

PROUDFOOT, C., MCFARLANE, G., WHITELAW, B.; LILLICO, S. 2020. "Livestock breeding for the 21st century: the promise of the editing revolution". *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 7(2): 129-135. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2019304>

PQBIO, 2006. "Biotecnología moderna: el caso del Arroz Dorado". En: Cuaderno n.o 23, Por qué Biotecnología. [https://www.porquebiotecnologia.com.ar/Cuadernos/EI\\_Cuaderno\\_23.pdf](https://www.porquebiotecnologia.com.ar/Cuadernos/EI_Cuaderno_23.pdf)

SANTOS VALLE, S. Y KIENZLE, J. 2020. "Agriculture 4.0 - "Agricultural robotics and automated equipment for sustainable crop production". *Integrated Crop Management* Vol. 24. Rome, FAO. <https://www.fao.org/3/cb2186en/CB2186EN.pdf>

Sitio oficial de la República Argentina. 2022. OGM Comerciales. <https://www.argentina.gob.ar/agricultura/alimentos-y-bioeconomia/ogm-comerciales>

Sitio oficial de la República Oriental del Uruguay.2023. Eventos autorizados y en proceso de análisis.  
<https://www.gub.uy/comunicacion/publicaciones/eventos-autorizados-y-en-proceso-de-analisis>

TEJEDA, A.; ROSSI, S.; NICOLÁS, J.; TRIGO, E. 2021. "25 años de OGM en Argentina". Bolsa de Cereales, Buenos Aires. [https://biotec-latam.com/bibliografia/12\\_ogm\\_25\\_anios-30-06-2021\\_sp.pdf#:~:text=Un%20segundo%20grupo%20de%20resultados%20indica%20que%20la,y%20el%20resto%20%28U%24S%20%2C1%20MM%29%20al%20algod%C3%B3n](https://biotec-latam.com/bibliografia/12_ogm_25_anios-30-06-2021_sp.pdf#:~:text=Un%20segundo%20grupo%20de%20resultados%20indica%20que%20la,y%20el%20resto%20%28U%24S%20%2C1%20MM%29%20al%20algod%C3%B3n)

# Glosario

---

## **Abiótico**

Relacionado con los factores físicos, químicos y otros factores no vivientes del ambiente, como la temperatura, la salinidad, las rocas, los minerales, el agua, el clima, etc. Son vitales para el desarrollo de los microorganismos, las plantas y los animales del ecosistema ya que proveen elementos y nutrientes esenciales para el normal desarrollo de los organismos vivos.

## **Ácido desoxirribonucleico (o ADN)**

Ácido nucleico formado por desoxirribonucleótidos, en los que el azúcar es desoxirribosa y las bases nitrogenadas son adenina, timina, citosina y guanina. Excepto en ciertos virus ARN, el ADN constituye la información genética. En su forma nativa, el ADN es una hélice doble.

## **Ácido ribonucleico (o ARN)**

Ácido nucleico formado por ribonucleótidos, en los que el azúcar es ribosa y las bases nitrogenadas son adenina, uracilo, citosina y guanina. Generalmente es un polímero de cadena simple. Existen varios tipos diferentes de ARN que cumplen funciones específicas en la síntesis de proteínas: ARN mensajero (ARNm), ARN ribosómico (ARNr) y ARN de transferencia (ARNt).

## **Acre**

Medida de superficie de origen inglés que equivale a 0,405 hectáreas.

## **Acuicultura**

Propagación y crianza de especies acuáticas en condiciones particulares y controladas.

## **Aditivo alimentario**

Sustancia que no constituye por sí misma un alimento ni tiene valor nutritivo, pero que se agrega a los alimentos y bebidas en pequeñas cantidades para modificar sus características organolépticas o facilitar su proceso de elaboración y/o conservación.

## **ADN**

Sigla para ácido desoxirribonucleico. Ver ácido desoxirribonucleico.

### **Agricultura sustentable o sostenible**

Es aquella que contribuye a mejorar la calidad ambiental y los recursos básicos de los cuales depende la agricultura, satisface las necesidades básicas de fibra y alimentos, es económicamente viable y mejora la calidad de vida del agricultor y de la sociedad toda.

### **Agrobacterium tumefaciens**

Bacteria que habita el suelo y forma tumores en ciertas plantas, generalmente en la base del tallo. Durante la infección transfiere parte de su material genético a las células de la planta. Empleada en ingeniería genética para obtener plantas transgénicas.

### **Agroecosistema**

Ecosistema modificado por el ser humano para la producción agropecuaria.

### **Agroquímico**

Término genérico para varios y diferentes productos químicos que se emplean en la agricultura, incluyendo a los fitosanitarios (insecticidas, herbicidas, fungicidas, etc.), fertilizantes sintéticos, hormonas y otros factores de crecimiento.

### **Amilasa**

Enzima que cataliza la hidrólisis del almidón.

### **Amilopectina**

Polisacárido muy ramificado de residuos de glucosa. Porción del almidón insoluble en agua.

### **Aminoácido**

Molécula que contiene al menos un grupo amino y un grupo carboxilo. Los aminoácidos se unen entre sí por enlaces peptídicos para formar las proteínas.

### **Antibióticos**

Sustancias que evitan o retrasan el crecimiento de los microorganismos. Se los emplea en el tratamiento de las enfermedades infecciosas y como agentes de selección en procesos de transformación genética.

### **Anticuerpo**

Proteína fabricada por las células del sistema inmune como respuesta a la presencia de una molécula extraña (antígeno). El anticuerpo se une directamente al antígeno para neutralizarlo, o para desencadenar una serie de reacciones complejas para eliminar al patógeno que lo presenta.

### **Anticuerpos monoclonales (mAb)**

Anticuerpos producidos por un clon de células (células originadas a partir de una única célula) y que, por lo tanto, reconocen a un único determinante antigénico.

### **Antígeno**

Sustancia que desencadena una respuesta inmune.

### **Antinutriente**

Compuesto que inhibe la absorción normal o la utilización de los nutrientes.

**Antioxidante (dietario)**

Sustancia presente en los alimentos que disminuye o inhibe la oxidación de biomoléculas como grasas, ácidos nucleicos, etc. Son ejemplos de antioxidantes las vitaminas C y E.

**Apomixia/s**

Producción de un embrión en ausencia de meiosis. Las plantas apomícticas generan semillas a partir de tejido materno.

**Arabidopsis thaliana**

Especie usada en investigación científica como modelo de plantas, debido a su corto tiempo de generación y a su genoma pequeño; es fácil de cultivar y de transformar genéticamente.

**ARN**

Sigla para ácido ribonucleico. Ver ácido ribonucleico.

**Autógama**

Especie que se reproduce por autofecundación, como por ejemplo la soja.

**Bacillus thuringiensis (Bt)**

Especie de Bacillus que produce toxinas con propiedad insecticida.

**Bacteria**

Microorganismo procarionte (es decir, sin núcleo), generalmente recubierto por una pared celular rígida.

**Biodiesel**

Combustible o aditivo producido a través de la reacción del aceite vegetal o de la grasa animal con el metanol, en presencia de un catalizador, para dar glicerina y biodiesel (metil-ésteres).

**Biodisponibilidad**

Medida de la cantidad o proporción de droga o nutriente que está verdaderamente disponible y puede ser utilizada por el organismo de forma efectiva.

**Biodiversidad**

Constituye la variabilidad entre organismos vivos provenientes de distintos ecosistemas: terrestres, marinos, acuáticos y los complejos ecológicos del que forman parte. Incluye la diversidad entre especies, dentro de una especie y entre ecosistemas.

**Bioenergía**

Energía renovable producida a partir de materiales biológicos. La madera, el carbón vegetal, el estiércol y los rastrojos son formas tradicionales de bioenergía. Los portadores de bioenergía obtenidos a partir de cultivos se conocen como biocombustibles, mientras que el biogás es la mezcla de metano y dióxido de carbono producido por la descomposición bacteriana de desechos orgánicos.

**Biolística o biobalística**

Técnica usada para llevar a cabo la transformación genética, disparando el ADN adherido a un vehículo físicamente capaz de atravesar la pared celular e ingresar a la célula. Actualmente se usan micropartículas de oro, y la fuerza propulsora es la expansión de un gas inerte comprimido, habitualmente nitrógeno.

**Biomasa**

Toda la materia orgánica proveniente de la fotosíntesis. Incluye a los árboles, plantas y a los residuos asociados, desechos animales, industriales y municipales. También, la masa total de organismos vivos que hay en una unidad de área (por ejemplo, en un fermentador).

**Biopharming**

Del inglés, uso de plantas o animales transgénicos para la fabricación de fármacos.

**Biorreactor**

Tanque en el que los microorganismos o células llevan a cabo los procesos biológicos como la fermentación, o donde se cultivan las células para la producción de proteínas recombinantes o para la explotación comercial de sus metabolitos.

**Biorremediación (o biocorrección)**

Proceso que utiliza organismos vivos (bacterias, hongos, algas, plantas) para recuperar un ambiente contaminado (ej. degradación bacteriana de hidrocarburos o compuestos organoclorados, limpieza de derrames de petróleo por adición de fertilizantes para estimular la reproducción de bacterias nativas o exógenas que descomponen el petróleo).

**Bioseguridad**

En el campo de los organismos genéticamente modificados, conjunto de procedimientos que se adoptan con el fin de minimizar los riesgos asociados a un producto (OGM).

**Biotecnología**

Toda tecnología que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos en usos específicos.

**Biotecnología moderna**

Es aquella que emplea a la ingeniería genética como principal herramienta para producir moléculas de interés o introducir nuevas características en plantas y animales.

**Biotecnología tradicional**

Empleo de organismos vivos, generalmente microorganismos, para la obtención de productos o servicios útiles para el hombre.

**Biótico**

Relativo a la vida. En agronomía, relacionado con factores biológicos que afectan el rendimiento de un cultivo: insectos, hongos, bacterias, virus, nematodos, etc.

**Bt**

Abreviatura de *Bacillus thuringiensis*. Cuando se refiere a un cultivo, es aquel al que se le ha introducido un gen de esta bacteria con el fin de hacerlo resistente a ciertos insectos.

**Buenas Prácticas Agrícolas**

Conjunto de principios, normas y recomendaciones técnicas aplicables a la producción, procesamiento y transporte de alimentos y orientadas a cuidar la salud humana, proteger el medio ambiente y mejorar las condiciones de los trabajadores y sus familias.

**Cambio climático**

Importante variación estadística en el clima que persiste por un período prolongado (decenios o más). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) lo define especialmente como un cambio de clima atribuido a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

**CaMV 35S**

Promotor 35S del virus del mosaico del coliflor, frecuentemente empleado en la construcción de plantas transgénicas para la expresión del gen de interés.

**Carácter**

En genética, rasgo determinado por la expresión de uno o más genes (por ej., color de ojos, altura, etc.).

**Célula**

Unidad mínima estructural y funcional de los organismos vivos. Todos los organismos vivos están formados por células. Algunos son unicelulares, como las bacterias, ciertos hongos y protozoarios, mientras que las plantas y animales están formados por millones de células organizadas en tejidos y órganos.

**Células madre (stem cells)**

Células inmaduras que tienen el potencial de generar nuevas células madre y diferenciarse en diversos tipos celulares. Los embriones tempranos contienen células madre que pueden transformarse en cualquier tipo celular. La médula ósea contiene células madre capaces de diferenciarse en los diferentes tipos de células sanguíneas.

**Celulosa**

Hidrato de carbono complejo insoluble formado por microfibrillas de moléculas de glucosa. Componente principal de la pared de las células vegetales.

**Centro de origen**

Zona geográfica donde una especie vegetal, domesticada o silvestre, adquirió sus propiedades distintivas. Es la fuente de mayor variabilidad genética natural.

**Cepa**

En microbiología, conjunto de virus, bacterias u hongos que tienen el mismo patrimonio genético.

**Clonación de células u organismos**

Proceso de multiplicación de células genéticamente idénticas, a partir de una única célula. Cuando se refiere a organismos, significa obtener uno o varios individuos a partir de una célula somática o de un núcleo de otro individuo, de modo que los individuos clonados son iguales al original (dador del núcleo con material genético).

**Conservación de recursos genéticos**

Conservación de especies, individuos, o parte de ellos, para preservar la diversidad de la información genética para las generaciones presentes y futuras.

### **Construcción genética**

Molécula de ADN obtenida por ingeniería genética y que contiene una serie de elementos genéticos conocidos. Cuando se trata de una construcción genética fabricada para la expresión del gen de interés, también recibe el nombre de "casete de expresión".

### **Control biológico**

Destrucción total o parcial de una población de insectos, patógenos, etc., por medio de otros organismos vivos.

### **Cruzamiento**

Apareamiento de dos individuos o poblaciones.

### **Cruzamiento prueba**

Método para evidenciar el genotipo de un individuo, por cruzamiento con otro que es homocigota recesivo para todos los genes implicados en el experimento.

### **CRISPR**

CRISPR (en inglés clustered regularly interspaced short palindromic repeats, en español repeticiones palindrómicas cortas agrupadas y regularmente interespaciadas) son familias de secuencias de ADN en bacterias.

### **Crispr Cas**

Crispr-Cas, también llamado cotidianamente como "tijeras genéticas", es un método de defensa que tienen algunas bacterias para protegerse de los virus.

### **Cultivar**

Población de plantas cultivadas obtenidas para fines comerciales. Son homogéneas genéticamente y presentan características de importancia agronómica que no poseen otras plantas de la especie. Los cultivares se identifican con nombres específicos que siguen las reglas del Código Internacional de Nomenclatura para Plantas Cultivadas.

### **Cultivo de tejidos (o in vitro)**

Procedimientos utilizados para mantener y crecer células y tejidos vegetales o animales, y órganos vegetales (tallos, raíces, embriones) en cultivo aséptico (in vitro).

### **Deleción**

Falta de un segmento de ADN en un gen o cromosoma.

### **Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)**

Gas presente en la atmósfera como resultado de los procesos de respiración y degradación de la materia orgánica de los organismos vivos. Junto con el vapor de agua y otros gases menos abundantes contribuye con el calentamiento del aire cercano al suelo a través del efecto invernadero.

### **Ecosistema**

Complejo dinámico de comunidades vegetales, animales, microorganismos y su medio ambiente, que funcionan como una unidad.

**Edición génica (también edición genómica)**

Grupo de tecnologías que permiten hacer cambios precisos en el ADN de un organismo. Se usan para agregar o eliminar fragmentos de ADN, así como para introducir cambios puntuales en sitios particulares del genoma. Una de las tecnologías más usadas es la llamada CRISPR-Cas9.

**Eficacia**

Habilidad de una sustancia o tratamiento para producir el efecto deseado.

**Enzima**

Macromolécula biológica que actúa como catalizador. La mayoría de las enzimas son proteínas, aunque ciertos ARN llamados ribozimas, también tienen actividad catalítica.

**Escherichia coli**

Especie de bacterias que habita normalmente el tracto gastrointestinal del hombre y otros mamíferos, aunque hay cepas patógenas que causan cuadros clínicos de variada intensidad. Algunas cepas no patógenas se emplean en el laboratorio para clonar fragmentos de ADN y para expresar y producir proteínas recombinantes.

**Especie**

Clasificación taxonómica formada por el conjunto de poblaciones naturales que pueden cruzarse entre sí, real o potencialmente.

**Especie domesticada o cultivada**

Especie en cuyo proceso de evolución ha influido el hombre para satisfacer sus propias necesidades.

**Espiga**

Inflorescencia que presenta un eje principal alargado donde se insertan flores sésiles.

**Estrés abiótico**

Estrés causado (por ejemplo, a un cultivo) por factores abióticos, como el calor, la sequía, la salinidad, radiaciones, compuestos tóxicos, etc.

**Estrés biótico**

Estrés causado (por ejemplo, a un cultivo) por la acción de bacterias, hongos, virus, insectos u otros organismos vivos.

**Estrés hídrico**

En las plantas, situación que se genera cuando la demanda de agua es más importante que la cantidad de agua disponible durante un período determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad.

**Evaluación de riesgo (para OGM)**

Proceso por el cual se evalúa la probabilidad de que un cultivo transgénico (o sus subproductos) cause daño al ambiente o a la salud humana o animal.

**Evento (de transformación)**

Recombinación o inserción particular de ADN ocurrida en una célula vegetal a partir de la cual se originó la planta transgénica. La Comisión Nacional de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA) define evento como la inserción en el genoma vegetal en forma estable y conjunta de uno o más genes que forman parte de una construcción definida.

**Eventos acumulados (también apilados, combinados o stack)**

Combinación de características en una única planta por cruzamiento entre parentales que contienen los eventos correspondientes.

**Fecundación Cruzada**

Fusión de gametas procedentes de diferentes organismos. Opuesto a la autofecundación.

**Fenotipo**

Conjunto de todas las características observables de una célula u organismo, sean éstas hereditarias o no.

**Fermentación**

a) Producción de moléculas de interés industrial a partir de microorganismos. b) Conversión biológica anaeróbica de las moléculas orgánicas, generalmente hidratos de carbono, en alcohol, ácido láctico u otros compuestos simples.

**Fertilizante (o abono)**

Sustancia que se agrega al suelo para mejorar la productividad de los cultivos. Puede ser biológico (compost) o sintético (artificial).

**Fijación biológica de nitrógeno**

Proceso que implica la transformación (reducción) del nitrógeno atmosférico a amonio, para ser aprovechado por las plantas. El proceso es llevado a cabo por bacterias de vida libre o en simbiosis con algunas especies vegetales (leguminosas y algunas leñosas no leguminosas).

**Fitomejorador (en inglés breeder)**

Persona que trabaja en la selección y obtención de nuevas (y mejores) variedades vegetales.

**Fitorremediación**

Empleo de plantas para remover contaminantes del suelo o el agua.

**Fungicida**

Producto fitosanitario usado para controlar o destruir hongos.

**Gen**

Unidad física y funcional del material hereditario que se transmite de generación en generación. Desde el punto de vista molecular, secuencia de ADN necesaria para la producción de una proteína o un ARN funcional.

**Genes acumulados (o apilados, en inglés stacked genes)**

Término empleado en la generación de cultivos transgénicos. Se refiere a la combinación de características deseadas en una única planta por cruzamiento entre dos eventos parentales que contienen los transgenes correspondientes.

**Genoma**

Toda la información genética contenida en una célula u organismo.

**Genotipo**

Constitución genética completa de una célula u organismo. También suele referirse a la combinación de los alelos de uno o más loci específicos.

**Germoplasma**

La variabilidad genética total, representada por células germinales, disponibles para una población particular de organismos.

**Glifosato**

Compuesto activo de algunos herbicidas que se usan para eliminar un amplio espectro de malezas. Actúa inhibiendo la función de la enzima 3-enolpiruvil-shiquimato-5-fosfato sintasa (EPSPS).

**Glufosinato de amonio**

Compuesto activo de algunos herbicidas que se usan para eliminar un amplio espectro de malezas. Actúa inhibiendo la función de la enzima Glutamina sintetasa.

**Grano**

Tipo de fruto simple típico de los cereales (trigo, arroz, maíz, etc.) y de otras plantas. En la cadena de valor, los granos se cosechan, se acopian y se transportan a las plantas procesadoras para obtener la materia prima para la industria alimenticia y otras industrias.

**Herbicida**

Compuesto o mezcla de compuestos que eliminan o impiden el desarrollo de las plantas. Se emplea para controlar las malezas en los cultivos.

**Hereditario**

Que se transmite de generación en generación.

**Herencia mendeliana**

Transmisión de características hereditarias que ocurre de acuerdo con las leyes formuladas por Mendel, esto es, con un patrón dominante, recesivo o ligado al cromosoma X.

**Híbrido**

Descendencia de dos progenitores que difieren en una o más características heredables, originada por el cruzamiento de dos variedades diferentes o de dos especies diferentes.

**Hormona**

Sustancia química producida normalmente en pequeñas cantidades en una parte del organismo, desde donde es transportada a otra parte, donde produce un efecto específico.

**Hormona del crecimiento**

Sinónimo de somatotropina. Grupo de hormonas secretadas por la glándula pituitaria de los mamíferos, y que estimulan la síntesis de proteínas y el crecimiento de los huesos de las extremidades.

## **Ingeniería genética**

Conjunto de técnicas que permiten aislar genes o fragmentos de ADN y transferirlos de un organismo a otro. También, una serie de técnicas que permiten obtener un organismo recombinante o transgénico, o sea portador de un gen proveniente de otro organismo. Sinónimo de metodología o tecnología del ADN recombinante.

## **Insulina**

La insulina es una hormona polipeptídica formada por 51 aminoácidos, producida y secretada por las células beta de los islotes pancreáticos. La insulina interviene en el aprovechamiento metabólico de los nutrientes, sobre todo con el anabolismo de los glúcidos.

## **Levaduras**

Grupo de hongos unicelulares que se dividen por formación de esporas o por segmentación. Algunos de ellos, como los del género *Saccharomyces*, son empleados en los procesos de fermentación que permiten la fabricación de pan y bebidas alcohólicas.

## **Leyes de Mendel**

Leyes que resumen la teoría de Gregor Mendel sobre cómo se heredan las características genéticas.

## **Lignina**

Principal componente de la madera. Polímero de alto peso molecular, amorfo, compuesto por ácidos y alcoholes fenilpropílicos.

## **Maleza**

Planta herbácea silvestre, sin valor comercial u ornamental, y que es considerada un estorbo para el crecimiento de las plantas útiles.

## **Manejo de Resistencia de Insectos (MRI o IRM en inglés)**

Conjunto de medidas para retrasar el desarrollo de la resistencia al método de control de plagas en las poblaciones de los insectos blanco (como por ejemplo, la siembra de refugios en el caso de los cultivos Bt).

## **Manejo integrado de Plagas (MIP)**

Enfoque integral y sostenible del manejo de insectos, malezas y enfermedades a través de la combinación de medidas biológicas, químicas y culturales efectivas económicamente, ambiental y socialmente aceptables.

## **Metodología del ADN recombinante**

Sinónimo de "ingeniería genética".

## **Microinyección**

Técnica de micromanipulación que permite introducir ADN u otro material directamente en el núcleo o en el citoplasma de una célula.

## **Micronutrientes**

Elementos químicos inorgánicos que se necesitan sólo en muy pequeñas cantidades, o trazas, para el crecimiento de un organismo (hierro, cobre, zinc, etc.).

**Microorganismos**

Sinónimo de microbios. Organismos microscópicos, generalmente virus, bacterias, algas, hongos y protozoos.

**Micropropagación**

Propagación de plantas en un ambiente artificial controlado, empleando un medio de cultivo nutritivo adecuado.

**Molecular farming**

Empleo de plantas o animales genéticamente modificados para la producción de moléculas de interés industrial. Aplicado a los fármacos, también se emplea molecular pharming o biopharming.

**Mutación**

Cambio permanente y heredable en la secuencia de nucleótidos de un cromosoma, generalmente en un único gen. Puede originar, o no, cambios en el fenotipo.

**Mutagénesis**

Inducción de cambios en el ADN (mutaciones) usando métodos físicos o químicos (mutágenos).

**Mutagénesis al azar**

Mutagénesis que genera cambios al azar en la secuencia de nucleótidos del ADN.

**Mutagénesis dirigida**

Mutagénesis que genera cambios específicos en la secuencia de nucleótidos del ADN.

**Nucleótido**

Monómero de los ácidos nucleicos, formado por un nucleósido unido a uno o más grupos fosfatos.

**Obtentor**

Persona o institución que crea o desarrolla una nueva variedad vegetal.

**Oligonucleótidos**

Moléculas de ADN o ARN formadas por cadenas simples de pocos nucleótidos (menos de 30).

**Organismo Genéticamente Modificado (OGM)**

Sinónimo de transgénico o recombinante, organismo que posee una combinación de material genético obtenida mediante la aplicación de la biotecnología moderna.

**Pared celular**

Capa externa y rígida de las células de las plantas superiores, algas, hongos y la mayoría de las bacterias. Las paredes celulares vegetales están constituidas principalmente de celulosa, aunque también presentan hemicelulosa, pectinas y pueden tener lignina.

**Patógeno**

Organismo que causa una enfermedad.

**Piensos**

Productos de origen vegetal o animal en estado natural, frescos o conservados, y los derivados de su transformación industrial, así como las sustancias orgánicas o inorgánicas, como el agua, simples o en mezclas, con o sin aditivos, destinados a la alimentación animal por vía oral.

**Plaga**

Cualquier planta, animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales.

**Plaguicida**

Producto destinado a prevenir la acción de, o a destruir las plagas insectos (insecticidas), ácaros (acaricidas), hongos (fungicidas), malezas (herbicidas), bacterias (antibióticos y bactericidas) y otras formas de vida perjudiciales para la salud y para los cultivos durante la producción, almacenamiento, transporte, distribución y elaboración de productos agrícolas. Muchas veces se usa como sinónimo de producto fitosanitario o pesticida.

**Proteína recombinante**

Proteína que se origina a partir de un ADN recombinante.

**Quimosina**

Enzima que coagula las proteínas de la leche, usada para la fabricación del queso.

**Recombinante**

Relacionado o producido por la metodología de ADN recombinante o ingeniería genética.

**Recursos genéticos**

Especies de plantas, animales y microorganismos de interés socio-económico actual o potencial para su uso en programas de mejoramiento genético o biotecnológico.

**Rendimiento**

En los cultivos agrícolas, la relación de la producción total de un cierto cultivo cosechado por hectárea de terreno utilizada. Se mide generalmente en toneladas o quintales por hectárea.

**Resistencia**

Capacidad de un organismo de impedir, parcial o completamente, los efectos de un patógeno o droga.

**Retrocruzamiento (o retrocruza)**

Cruzamiento de un híbrido (o F1) con uno de sus progenitores o con un organismo genéticamente equivalente a uno de los progenitores.

**Revolución Verde**

Incremento significativo de la productividad agrícola originado a partir de 1950 como consecuencia del empleo de técnicas modernas de producción, basadas en la selección genética y la explotación intensiva facilitada por el riego y el uso de fertilizantes, pesticidas y herbicidas.

**Riesgo**

Posibilidad o probabilidad de que suceda un daño (a la salud, al ambiente, etc.). El riesgo es función del peligro (inherente a las sustancias, agentes biológicos, etc.) y de la exposición a dicho peligro.

### **Secuenciación del ADN**

Técnica que permite conocer la secuencia exacta de un fragmento de ADN.

### **Selección artificial**

Proceso similar a la selección natural, pero realizada por el hombre, y que se basa en la elección de los individuos que presentan las características que le interesan.

### **Selección natural**

Selección (presión selectiva) ejercida por el conjunto de factores ambientales bióticos y abióticos sobre un individuo.

### **Semillas**

Estructuras formadas por la maduración del óvulo de las plantas espermatofitas (con semillas) después de la fecundación.

### **Silenciamiento génico**

Disminución o pérdida de la expresión génica debido a mecanismos que pueden actuar antes o después de la transcripción. Ocurre naturalmente en los organismos eucariotas y tiene como objetivos principales la regulación de la expresión y la eliminación de material genético ajeno (de un virus, por ejemplo). En ingeniería genética se usa para silenciar uno o unos pocos genes específicos, con el fin de introducir nuevas características (por ejemplo, resistencia a virus o eliminación de alérgenos en plantas).

### **Stack (también eventos acumulados, apilados o combinados)**

Combinación de características en una única línea por cruzamiento entre parentales que contienen los eventos correspondientes.

### **Tejido**

Grupo de células similares organizadas en una unidad estructural y funcional.

### **Toxina**

Sustancia producida generalmente por bacterias y hongos (aunque también por plantas y animales) y que es tóxica para las personas o los animales.

### **Transformación genética**

Modificación permanente y heredable de una célula como resultado de la incorporación de ADN foráneo (cuando se trata de células animales, se emplea el término "transfección" en lugar de transformación).

### **Transgén**

Gen que es introducido por ingeniería genética en el genoma de una planta o animal, y que se transmite de generación en generación.

### **Transgénico**

Se refiere a una planta o animal que porta uno o más transgenes.

### **Vacuna**

Antígeno o mezcla antigénica proveniente de un organismo patógeno y que se administra para producir inmunidad contra ese organismo y prevenir la enfermedad.

**Vacuna comestible**

Alimento (papa, banana, espinaca, etc.) que contiene un antígeno capaz de prevenir una determinada enfermedad en el organismo que lo ingiere.

**Variación genética**

Cambios atribuidos a variaciones en el genotipo.

**Variación somaclonal**

Cambio genético o epigenético originado por procedimientos de cultivo in vitro.

**Variedad**

Grupo de plantas o animales de rango inferior a la especie. Algunos botánicos consideran que las variedades son equivalentes a las subespecies, y otros las consideran divisiones de las subespecies.

**Vector (de clonado)**

En ingeniería genética, vehículo empleado para introducir ADN en una célula u organismo.

**Virus**

Pequeña partícula que consiste en ARN o ADN encerrado en una cubierta proteica. Sólo puede multiplicarse en la célula hospedadora adecuada.

---

