



Agro-bio-tecnologías: herramientas bio-lógicas al servicio de la agricultura

PEDRO J. ROCHA¹

Resumen

La agrobiotecnología es una tecnología eficaz, constituida por numerosas y variadas técnicas. Dentro de ellas están las de hibridación, el cultivo *in vitro* de células y tejidos, la fermentación, el control biológico con microorganismos y algunas que no utilizan organismos vivos. En el presente artículo se describen brevemente algunas de ellas y se presentan conceptos que permiten aclarar la relación de la transgénesis, una de las múltiples técnicas, con la agrobiotecnología. Además, se expone brevemente la posición del IICA sobre la biotecnología y sus interrelaciones con otras áreas.

¹ Coordinador del Área de Biotecnología y Bioseguridad del Programa de Innovación para la Productividad y Competitividad, IICA, pedro.rocha@iica.int



PALABRAS CLAVE: AGRICULTURA, BIOTECNOLOGÍA, CULTIVO *IN VITRO*, HIBRIDACIÓN, CONTROL BIOLÓGICO, FERMENTACIÓN, GENÓMICA, BIOINFORMÁTICA, TRANSFERENCIA DE GENES.

INTRODUCCIÓN

La tecnología, definida por el Diccionario de la Real Academia Española (DRAE) como “conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico” y su interacción con la política, la economía y la cultura, entre otros, se constituye en un factor fundamental para que la agricultura alcance la competitividad y garantice la anhelada sostenibilidad económica, social y ambiental.

Algunas de las tecnologías biológicas, referidas como biotecnología², se han usado desde etapas tempranas de la humanidad con el objeto de generar soluciones para diferentes ámbitos, inclui-

dos el farmacéutico, alimenticio, industrial y agrícola, entre otros. Por su creciente importancia en el sector agrícola, es necesario contar con conceptos e información objetiva que permita tomar decisiones y valorar de manera objetiva el impacto real de estas tecnologías.

Precisamente en este artículo se presentan algunas de las múltiples técnicas de la agrobiotecnología. Por su interés, se hace referencia a la posición del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) en torno al tema de la biotecnología y sus interacciones con otras áreas, con el fin de introducir conocimiento técnico y contribuir a alcanzar una agricultura competitiva y sostenible en armonía con el medio ambiente.

AGROBIOTECNOLOGÍA

Dentro de las tecnologías empleadas por la agricultura –sea esta convencional, orgánica u otra– se reconocen como importantes aquellas basadas en la actividad o presencia de los organismos vivos o sus derivados. De este modo, las tecnologías biológicas empleadas en la agricultura se conocen como “biotecnología agrícola” o “agrobiotecnología”, términos que hacen referencia a un conjunto de diversas técnicas (conjunto de procedimientos y recursos) que pueden ser usadas para contribuir a la solución de algunos de los problemas agrícolas.

Las variadas técnicas de la agrobiotecnología se fundamentan en ciencias biológicas tales

² Para la Convención de Diversidad Biológica (CDB 1992), biotecnología es “toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos.”



como la genética, la fisiología, la microbiología, la bioquímica y la biología celular y molecular. Además, se relacionan con otras disciplinas (ingeniería química, de bioprocesos, informática, estadística, economía, entre otros). Aunque algunas de las técnicas biotecnológicas se utilizan desde épocas milenarias con diversos fines (como en la elaboración de alimentos y bebidas), desde hace poco más de cuatro décadas, en la agricultura se han introducido técnicas caracterizadas por su especificidad, precisión, rapidez y versatilidad, que claramente han superado o potenciado algunos de los procesos naturales propios de los organismos vivos. Aunque hay muchas técnicas, a continuación se describen brevemente solo algunas de ellas:

1 La **hibridación** es un proceso que consiste en cruzar diferentes progenitores de variedades vegetales (o razas animales) para aprovechar las características parentales y generar un cultivo con características nuevas o mejoradas que cumpla con las condiciones de distinción, homogeneidad y estabilidad exigidas para una nueva variedad vegetal. La utilización de esta técnica en la agricultura ha sido responsable de los notables incrementos de productividad de los cultivos (maíz principalmente) obtenidos desde las primeras décadas del siglo XX y sigue siendo de gran impacto en la actualidad.

2 El **cultivo *in vitro* de células y tejidos**, que incluye múltiples técnicas y procedimientos, se basa en el hecho de que un fragmento de una planta (células, tejidos u órganos) se pue-

Desde hace poco más de cuatro décadas, en la agricultura se han introducido técnicas caracterizadas por su especificidad, precisión, rapidez y versatilidad, que claramente han superado o potenciado algunos de los procesos naturales propios de los organismos vivos.

de cultivar en condiciones de asepsia en un medio (sustrato) artificial, sólido o líquido, de composición química particular y se mantiene en condiciones medioambientales controladas. En la práctica, todos los cultivos de interés comercial han sido objeto de estudio del cultivo *in vitro*, la mayoría de ellos con propósitos de multiplicación o propagación masiva de plantas élite, eliminación de patógenos en los materiales de siembra, generación de haploides o con fines de conservación (rescate de embriones, crioconservación, entre otros). Esta biotecnología es de uso rutinario y, como resultado de su aplicación, desde hace varias décadas existen notables extensiones de “cultivos biotecnológicos” de banano, caña de azúcar, palma de aceite, frutales, flores, forestales y otros.

3 La **fermentación** es un proceso biológico en el cual los azúcares, en presencia de microorganismos o enzimas aisladas provenientes de ellos, se convierten en ener-

gía y en productos metabólicos diversos tales como alcoholes o ácidos. La tecnología de fermentación es de las tecnologías biológicas más antiguas que se conocen y ha sido muy empleada en la producción de diferentes tipos de alimentos, bebidas, medicinas y biocombustibles (etanol). Adicionalmente, es una etapa importante de los procesos de compostaje (fundamental en el sector agrícola para la generación de biofertilizantes) y en actividades industriales diversas, por lo general, asociadas con la utilización de biorreactores.

Aunque la bondad de la fermentación es evidente, también contrasta con el daño que este mismo bioproceso causa en las plantas afectadas por enfermedades bacterianas o fúngicas (pudriciones). En consecuencia, hay una vasta investigación asociada con esta tecnología para evitar daños en los cultivos y para utilizar microorganismos en otras actividades.

4 El **control biológico con microorganismos** es parte de las técnicas biotecnológicas empleadas en la agricultura y se basa en que varios microorganismos (bacterias y hongos) pueden causar enfermedades en los insectos de manera natural.

La bacteria más empleada en el control biológico de coleópteros (cucarrones), lepidópteros (mariposas y polillas) y dípteros (moscas) es *Bacillus thuringiensis*, la cual produce un cristal de proteína que

actúa como “tóxico” al entrar en contacto con los intestinos de los estados larvarios de tales insectos. Mediante el desarrollo de biorreactores, se puede cultivar la bacteria y posteriormente extraer el cristal, el cual puede ser asperjado sobre un cultivo para protegerlo del ataque de los insectos plaga susceptibles a la toxina. Algunos hongos (vg. *Trichoderma sp.*, *Beauveria bassiana*, *Paecilomyces sp.*, *Metarhizium sp.*, *Lecanicillium sp.*, *Cordyceps sp.*, entre otros) se pueden emplear para lograr el control biológico de diversas plagas (mosca blanca, trips, pulgones, gorgojos, ácaros).

Las técnicas de aislamiento, estudio y cultivo de estos microorganismos biocontroladores, junto con el diseño de los métodos para su crecimiento (en biorreactores) y su uso (inoculación) en los cultivos también constituyen técnicas de la agrobiotecnología. Un cultivo tratado con este tipo de control podría ser considerado también como un cultivo biotecnológico. De igual manera, se puede considerar biotecnológico el control de insectos que reduce la reproducción de un insecto determinado en un sitio particular, mediante la liberación de insectos macho esterilizados con radiación (IAEA 2011a).

5

La **modificación genética** directa (conocida también como transgénesis) es una técnica que superó las barreras biológicas impuestas por la naturaleza y permitió la generación de organismos que expresan genes de otros organismos

(virus, bacterias, animales, humanos u otras plantas). Para el 2010, los cultivos genéticamente modificados (principalmente de maíz, soya, algodón y colza) ocuparon un área de 148 millones de hectáreas, distribuidas en 29 países y fueron sembradas por 15,4 millones de agricultores, 90% de los cuales poseen extensiones menores a 0,6 ha (James 2010).

La tecnología transgénica, discutida ampliamente en foros de diversa naturaleza, ha fomentado la regulación –p. ej. en bioseguridad– en los países (Protocolo de Cartage-

na 2000)³ y ha sido una tecnología de rápida adopción en el sector agrícola (James 2010). Adicionalmente, se considera como una herramienta esencial para responder de manera oportuna a los retos actuales de la agricultura (por ejemplo, adaptación al cambio climático, aumento de los rendimientos de los cultivos, disminución de ciertos insumos, optimización del recurso agua y suelo, entre otros).

Sin embargo, para que la tecnología transgénica pueda generar nuevos materiales, requiere de genes, sistemas



³ El estado actual sobre la bioseguridad en los países puede encontrarse en el sitio web <http://www.bch.cdb.int>



de regeneración *in vitro* y sistemas de introducción de genes, para lo cual son indispensables técnicas de marcadores moleculares, clonación y cultivo de tejidos, entre otras.

El poder de la tecnología transgénica aplicada a la agricultura es tan sobresaliente que se consideró como la herramienta representativa de la agrobiotecnología y, en consecuencia, se utilizó la expresión “cultivos biotecnológicos” para referirse a los “cultivos genéticamente modificados (GM)”. Sin embargo, como se ha presentado hasta el momento, los cultivos GM son también cultivos biotecnológicos, pero no todo cultivo

biotecnológico es transgénico. Vale anotar que, desde el punto de vista de la modificación genética, existen otras técnicas que se pueden incluir dentro de esa caja de herramientas de la biotecnología. Por ejemplo, mediante el uso de radioactividad es posible inducir mutaciones (cambios) cuyos resultados son de aplicación actual (IAEA 2011b). No obstante, se reconoce a la transgénesis como un método de mayor precisión y control.

6 Las técnicas “biotecnológicas” que no emplean organismos vivos. *Stricto sensu*, para definir una práctica como biotecnológica, debe mediar la presencia de organismos vivos (como ha

sido mostrado en el caso del cultivo *in vitro* de células y tejidos, la fermentación, la generación de bioinsumos, la transgénesis). No obstante, existen algunas técnicas (por ejemplo, marcadores moleculares, secuenciación genética, “ómicas” –genómica, transcriptómica, proteómica– y bioinformática, entre otras) que aunque no utilizan seres vivos, ciertamente se han incorporado en algunos casos como herramientas indispensables de los desarrollos agrobiotecnológicos y sirven para analizar los organismos a una escala de resolución sin precedentes. Además, dentro de los insumos requeridos, de manera casi obligatoria y rutinaria, se emplean productos biotecnológicos.

En estas técnicas biotecnológicas, los marcadores moleculares son importantes para la caracterización genética de germoplasma, la generación de mapas genéticos y moleculares, la identificación de genes asociados con características de interés agronómico, el apoyo a los programas de fitomejoramiento y a las actividades de diagnóstico, seguimiento y control.

La secuenciación de ADN de múltiples especies y la obtención de vastas cantidades de información han abierto nuevas áreas de estudio (“ómicas”) y nuevas posibilidades de análisis (bioinformática), lo cual ofrece claras posibilidades asociadas con el conocimiento detallado y la consecuente utilización de cada uno de los genes identificados en los sectores agrícola y pecuario. A la fecha,

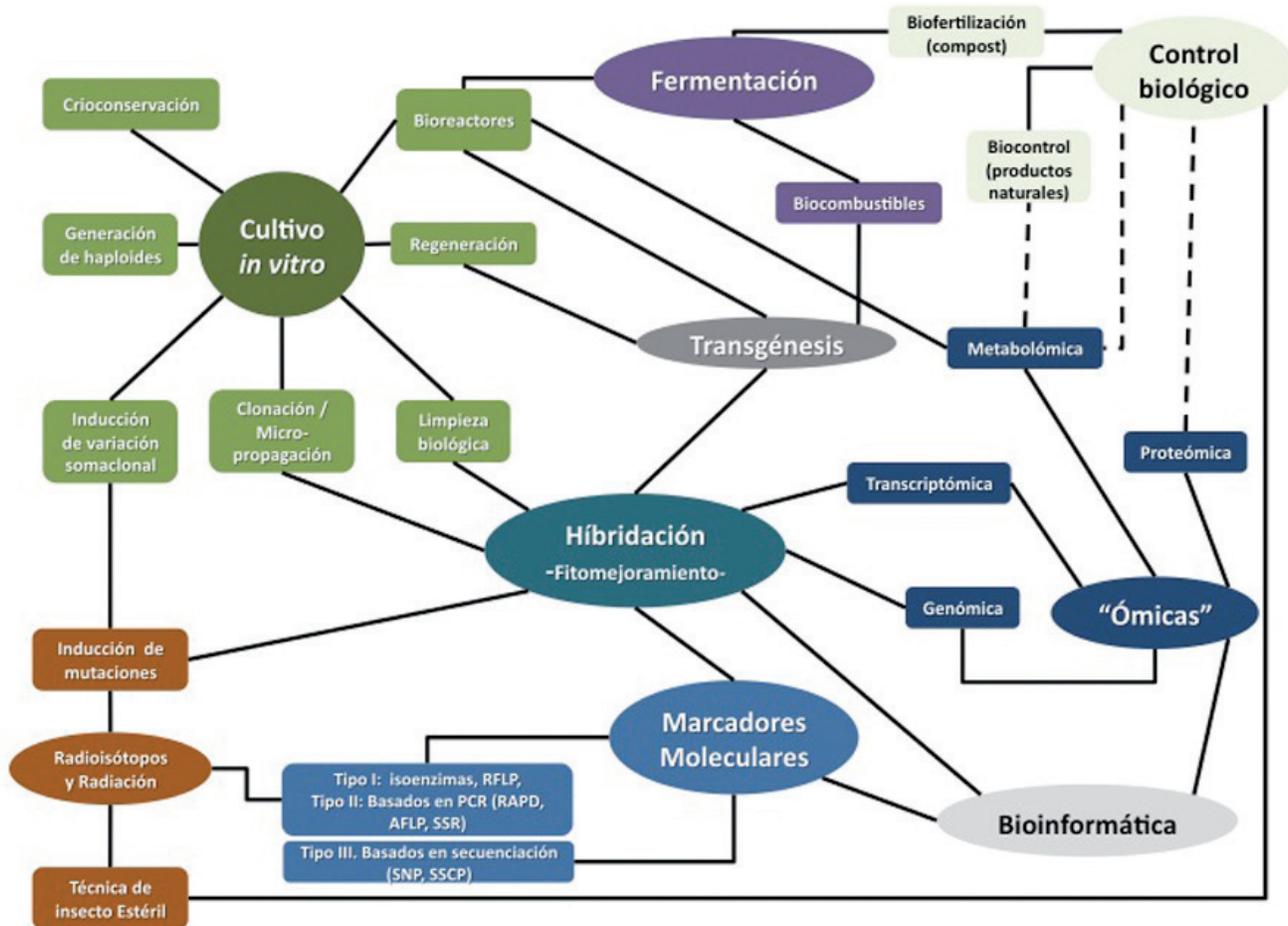


FIGURA 1. ALGUNAS TÉCNICAS EMPLEADAS POR LA AGROBIOTECNOLOGÍA Y SUS INTERACCIONES.

se han reportado las secuencias de 1749 genomas completos de diversos organismos y se han realizado 10 337 proyectos de secuenciación (GOLD 2011). De igual manera, las herramientas de secuenciación han abierto la posibilidad de secuenciar comunidades (metagenoma) de organismos completos sin necesidad de aislarlos, lo cual tendrá un impacto enorme en la agricultura. En la actualidad, se han analizado 249 metagenomas de 323 proyectos reportados (GOLD 2011).

POSICIÓN DEL IICA FRENTE A LA AGROBIOTECNOLOGÍA

Con el objetivo de “fortalecer el desarrollo del uso seguro de las biotecnologías como herramienta clave para mejorar la productividad y la competitividad del sector agropecuario y el aprovechamiento sostenible de los recursos genéticos para la agricultura y la seguridad alimentaria” (IICA 2010), el área de Biotecnología y Bioseguridad del IICA tiene el compromiso de brindar información técnica,

objetiva, imparcial, actualizada y científicamente validada sobre los avances, beneficios y riesgos de la biotecnología. De este modo, se espera apoyar a los gobiernos de los Estados Miembros del IICA con información que permita la creación o el fortalecimiento de marcos institucionales, la formulación de políticas y estrategias de biotecnología y bioseguridad, y el apoyo a los procesos de toma de decisiones relacionados con el uso responsable y eficiente de las variadas herramientas de la agrobiotecnología.



Sobre esta línea de pensamiento, es responsabilidad del IICA poner a disposición del público conocimiento técnico que permita aclarar conceptos y mostrar los avances tecnológicos que tengan el potencial de contribuir a alcanzar una agricultura eficiente y sostenible, en armonía con el medio ambiente. En consecuencia, el IICA, a solicitud de los gobiernos de los Estados Miembros, busca fortalecer la institucionalidad relacionada con el tema biotecnológico y está interesado en apoyar procesos de creación de capacidades técnico-científicas en agrobiotecnología (en sentido amplio, como se ha mostrado a lo lar-

go del presente texto). Además, busca mostrar que la mayoría de las herramientas de la agrobiotecnología son compatibles con los diversos tipos de agricultura y que, por lo tanto, los agricultores (pequeños o medianos) están llamados a explorar las potencialidades de la biotecnología agrícola y a convertirlas en realidades para su beneficio y el de sus familias.

Con respecto a la posición relacionada con la utilización de los organismos vivos modificados (OVM) obtenidos mediante transgénesis, el IICA presenta información, pero no toma partido ni participa en la

decisión soberana de los países de adoptar o no tal tecnología (CDB 1992). Lo que IICA sí propende en tecnología de transgénesis es que los países, independientemente de su actitud de apoyo o de rechazo a los OVM, implementen sus marcos regulatorios sobre bioseguridad (Protocolo de Cartagena 2000), pues se constituyen en una herramienta que garantiza las decisiones soberanas de los Estados.

CONSIDERACIONES FINALES

El acelerado crecimiento de la población mundial (UN 2008) con el consecuente incremento de sus requerimientos alimenticios e

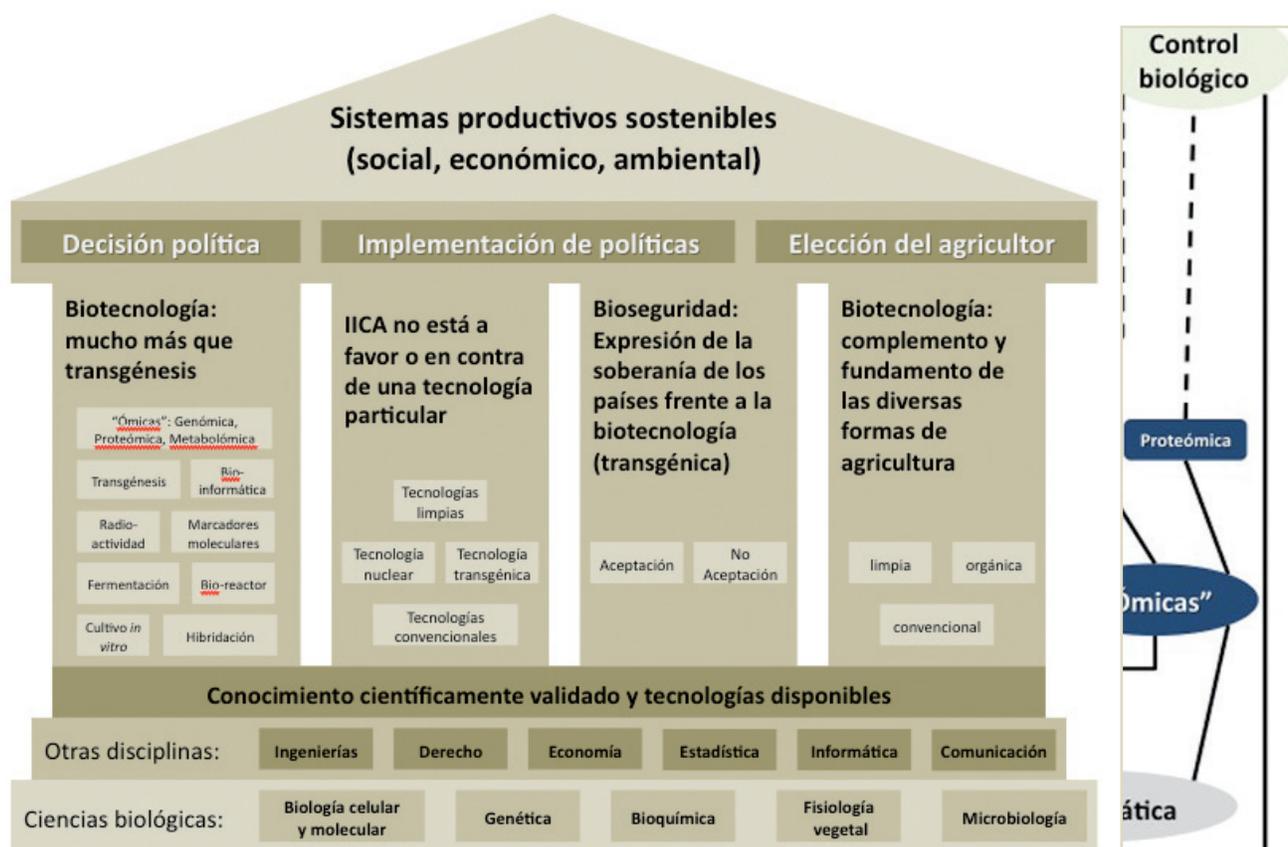


FIGURA 2. POSTULADOS QUE SUSTENTAN LA ACCIÓN Y LA POSICIÓN DEL IICA EN BIOTECNOLOGÍA.



industriales (combustibles, medicinas, fibras, entre otros), la alteración de áreas cultivables (FAO 2011), la presión sobre la disponibilidad de agua y los múltiples efectos reales y potenciales del cambio climático (IPCC 2001) hacen que la agricultura deba ajustarse a estos retos y a otros por venir.

En los anteriores párrafos, se ha mostrado que la biotecnología es una caja de herramientas (o técnicas) robustas que no son exclusivas de ninguna ciencia, disciplina o sector. Estas herramientas pueden interactuar entre sí y, de este modo, contribuir a enfrentar los desafíos mencionados.

Es importante mencionar que, aunque las numerosas y variadas técnicas de la biotecnología han estado disponibles desde hace ya varios años, algunos han asociado la agrobiotecnología úni-

camente con la producción de OVM u organismos transgénicos, lo cual ha contribuido a la desinformación y a la confusión de los usuarios, y ha polarizado a dos importantes tipos de agricultura: la orgánica y la basada en OVM. Vale anotar que, de acuerdo con la normativa que rige la producción orgánica en los países, las dos herramientas de la biotecnología que no son permitidas por la agricultura orgánica incluyen a la transgénesis y a la radiación ionizante⁴. Sin embargo, la agricultura orgánica, la agroecología y demás tipos de agricultura han hecho, hacen y seguirán haciendo uso rutinario y eficiente de las otras técnicas biotecnológicas disponibles (hibridación, cultivos *in vitro*, fermentación, compostaje y control biológico, entre otras).

Para finalizar, la agrobiotecnología ha generado cambios

profundos sobre métodos de producción y oferta de nuevos productos. En consecuencia, se amplía el panorama para que la tecnología contribuya a solucionar no solo los problemas de la agricultura en particular, sino de la humanidad en general. Sin embargo, la tecnología *per se* no es suficiente. De hecho, para lograr un impacto real, la ciencia, la investigación y la tecnología, junto con las oportunas y acertadas decisiones políticas y su implementación, se erigen como pilares indispensables en la generación de sistemas productivos sostenibles en los ámbitos social, económico y ambiental, los cuales procuren el desarrollo de las comunidades rurales. Eso sí, dependerá de todos actuar con racionalidad, madurez y oportunidad. El IICA, la casa de la agricultura de las Américas, está para apoyar los diferentes procesos que se requieran.

⁴ Información complementaria en el sitio web de la Comisión Interamericana de Agricultura Orgánica (CIAO) <http://www.agriculturaorganicaamericas.net>



Cuadro 1. Descripción, logros y estado de algunas técnicas de la agrobiotecnología en ALC.

TÉCNICA	FECHA DE INTRODUCCIÓN	DESCRIPCIÓN	LOGROS	ESTADO EN ALC
Cultivos <i>in vitro</i>	1968	Permite cultivar células y tejidos en medios de cultivo. Importante en investigación básica (fisiología, fitopatología, entre otros) y aplicada. Sirve como herramienta de conservación de germoplasma. Apoya procesos productivos, por ejemplo: la clonación de material élite, la propagación masiva de plantas, la limpieza de material. Es fundamental para la transgénesis.	En casi todas las plantas vegetales de interés agronómico, se han aplicado las técnicas <i>in vitro</i> .	Uso rutinario y con visión empresarial para especies vegetales.
Biorreactores	Década de 1970	Producción de organismos o metabolitos en cultivos cerrados. Tecnología asociada con la ingeniería y procesos productivos.	Producción de bioinsumos (fertilizantes, biocidas, entre otros). Utilizada en industrias de alimentos, bebidas y biocombustibles.	Uso rutinario e industrial por parte de la mayoría de empresas de base biotecnológica.
Marcadores moleculares	1977	Permite analizar el ADN de manera indirecta. Sirve para análisis de diversidad genética, construcción de mapas genéticos, identificación de genes, selección asistida y sistemas de diagnóstico.	Numerosos estudios de diversidad genética. Variedades comerciales liberadas. Kits de diagnóstico disponibles.	Uso frecuente pero con fines académicos.
Transgénesis	1980	Permite la inserción y expresión de genes de un organismo en otro. Sobrepasa las barreras reproductivas naturales. Requiere de genes, sistemas de transformación y de regeneración y reglamentación. Es la base de la ingeniería metabólica.	Prácticamente se ha estandarizado para todos los cultivos de interés comercial, aunque solo unos pocos son comercializados (soya, algodón, colza, maíz). No es aceptada por la agricultura orgánica.	Al 2010, diez países de ALC poseían siembras comerciales de cultivos genéticamente modificados.
Genómica	1976 (inicio)- 2000	Agrupar las técnicas de alta eficiencia (número de análisis, disminución de tiempo y de costos). Infraestructura costosa y necesidad de personal altamente calificado. Estudio detallado de genomas o secuencias de múltiples genes simultáneamente. Se basa en la secuenciación del ADN.	En desarrollo 10 337 genomas secuenciados y 323 metagenomas.	Desarrollo incipiente, aunque Brasil se erige como el líder global de esta aplicación en agricultura.
Proteómica	2000	Secuencia proteínas y realiza ensayos funcionales.	En desarrollo.	Desarrollo pobre.
Metabolómica	2000	Identificación y aislamiento de metabolitos.	Notable experiencia en caracterización y aislamiento de moléculas.	Desarrollo incipiente.
Bioinformática	1962 (inicio)	Dedicada al manejo (recopilación, análisis y uso) de vasta cantidad de información biológica. Incluye manejo de bases de datos, anotación, análisis de secuencias de ADN y aminoácidos, modelamiento de sistemas biológicos, análisis de imágenes.	Bases de datos mundiales con varios millones de secuencias de genes y proteínas.	Desarrollo creciente.

Literatura consultada

CDB (Convención de Diversidad Biológica). 1992. Convenio sobre la Diversidad Biológica. Disponible en <http://www.cbd.int>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2003. Agricultura orgánica, ambiente y seguridad alimentaria. Eds. N El-Hage; C Hattam. Roma, IT, Colección FAO: Ambiente y Recursos Naturales 4.

GOLD (Genomes online Database). *Genomes online Database* v. 3.0. 2011. Consultado 30 mayo 2011. Disponible en <http://www.genomesonline.org>.

IAEA (International Atomic Energy Agency) 2011a. *Insect pest control newsletter*. No. 26. Viena, 44 p.

IAEA (International Atomic Energy Agency) 2011b. *Plant breeding & genetics*. No. 76. Viena, 46 p.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2010. Plan de mediano plazo 2010-2014. Serie de documentos oficiales No. 87. San José, CR. 102 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Eds. JT Houghton; Y Ding; DJ Griggs; M Noguer; PJ Van der Linden; X Dai; K Maskell; CA Johnson. UK y Nueva York, Universidad de Cambridge. 881p.

James, C. 2010. *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2010*. Nueva York, Ithaca, ISAAA Brief 42.

NU (Naciones Unidas). 2008. *Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects: the 2008*. Consultado 11 mayo 2011. Disponible en <http://esa.un.org/unpp>

Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. 2000. Protocolo de Cartagena sobre seguridad de la biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Montreal. 30 p.