

2.5 Negocios de la bioeconomía a partir de aplicaciones biotecnológicas (bioinsumos, transgénicos, entre otras)

Autor: Pedro Rocha (IICA).

La biotecnología en el cumplimiento de varios de los objetivos de desarrollo sostenible

En una época marcada por la variabilidad climática extrema y por los impactos inciertos de un conflicto bélico, los productores agrícolas se ven afectados en los ámbitos agronómicos y económicos. Por lo anterior, el cumplimiento a tiempo y en forma de varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Naciones Unidas 2015) está en entredicho. Las amenazas ambientales influyen sobre la productividad y la calidad de los cultivos e incluso se perciben efectos aún desconocidos sobre la resistencia de las plantas a distintos tipos de estrés biótico y abiótico. Todo ello afecta de manera importante el cumplimiento de los ODS 1, 2, 6, 13 y 15. Por otro lado, el conflicto Rusia-Ucrania está perturbando el suministro y el costo de los fertilizantes (Jenkins 2022). Ante este panorama y para responder a las amenazas ambientales y aminorar las consecuencias del conflicto sobre el sector agro-productivo, sin afectar la visión de sostenibilidad de la producción agrícola, diversas técnicas y aplicaciones biotecnológicas se consolidan como herramientas de utilidad inmediata.

Ante el progresivo desabastecimiento o encarecimiento de fuentes de fertilizantes, los insumos de origen biológico (bioinsumos), obtenidos mediante biotecnologías que utilizan procesos biológicos muy conocidos (como fermentaciones), brindan oportunidades reales para la generación de biofertilizantes, abonos orgánicos, bioles e incluso productos técnicamente más complejos como fijadores biológicos de nitrógeno, solubilizadores biológicos de fósforo y de potasio, entre otros (Rocha 2020). También, las técnicas de modificación genética (mutación química o por radiación, transgénesis) y en particular la edición génica (EdGn) adquieren enorme relevancia para la obtención de plantas con mayor eficiencia en el uso de nutrientes, como nitrógeno, fósforo y potasio (Sathee *et al.* 2022) y la obtención de materiales tolerantes o resistentes a diferentes tipos de estrés biótico o abiótico. Dichos insumos se convierten en herramientas esenciales para la rápida generación de diversos cultivos adaptados a situaciones de sequía, afectación por plagas y enfermedades, entre otros (Rocha y Villalobos 2016).

Por otra parte, las técnicas de cultivo *in vitro* de células y tejidos retoman su importancia en la propagación y distribución de materiales élite (plátano, banano, yuca, papa y otros) y en la limpieza de materiales de siembra (por remoción de virus, bacterias y hongos), lo cual contribuye a la disminución en el uso de fungicidas y demás moléculas de síntesis importantes para paliar determinadas situaciones del proceso productivo.

Las técnicas de marcadores moleculares y de secuenciación de ADN posibilitan el conocimiento, el uso y la conservación de la agrobiodiversidad. Toda la información resultante, que se analiza

mediante técnicas de bioinformática, ayuda a optimizar procesos y a generar soluciones ambientalmente amigables basadas en el control de condiciones y procedimientos, gracias al conocimiento preciso de los genes de las plantas y de la fisiología molecular de los cultivos.

Cada vez más las aplicaciones biotecnológicas se relacionan con contribuciones a la resolución de problemas medioambientales, por ejemplo: en la definición de estrategias de conservación o protección de la biodiversidad y en el rescate de especies en vía de extinción; en el apoyo a medidas de adaptación al cambio climático (mediante generación de cultivos tolerantes a la sequía o a la salinidad o a través de la obtención de animales resistentes a altas temperaturas ambientales); en la diversificación y optimización energética (contribución a la mitigación) del sector agroalimentario; y, en general, en el desarrollo agrícola y pecuario (para producir más y mejor).

Las opciones tecnológicas actualmente disponibles son múltiples y variadas. Sin embargo, para contribuir en el desarrollo oportuno de tales áreas, es necesario una mayor inversión (en recursos humanos e infraestructura) y mayor claridad regulatoria.

Una robusta institucionalidad y sistemas de regulación eficientes son fundamentales para el desarrollo biotecnológico

La institucionalidad en general y los marcos regulatorios en particular permitirán alcanzar el potencial que la biotecnología ofrece. Para que los desarrollos biotecnológicos se apliquen en el sector agroalimentario y se garantice su seguridad e inocuidad, se requiere de sistemas de regulación eficientes, basados en ciencia, que sean transparentes y predecibles.

Aunque existen orientaciones internacionales (Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología, Guías OECD, anexos del *Codex Alimentarius*), no todas ellas cubren las diversas aplicaciones de la biotecnología y no todos los países de América Latina y el Caribe (ALC) las han implementado.

Por ejemplo, es necesario revisar y ajustar la regulación sobre insumos biológicos (bioinsumos), para garantizar la obtención y utilización de productos de calidad (en términos de seguridad e inocuidad). Si bien el tema de la regulación para el desarrollo del subsector de bioinsumos fue introducido por el IICA en el 2013 (IICA 2013), se requiere trabajo adicional, por ejemplo: en la mayor conceptualización técnico-regulatoria basada en los desarrollos actuales, en los protocolos y normas sustentados en la caracterización de los diversos tipos de productores y sectores, en la revisión y el eventual ajuste de reglamentos técnicos para bioinsumos en la mayoría de los países, en el fortalecimiento de las labores de extensión agrícola relacionadas con la elaboración de este tipo de productos y ciertamente en normas para el perfeccionamiento de los canales de comercialización.

Con respecto a la modificación genética, es imperioso que los países desarrollen o actualicen sus marcos regulatorios sobre organismos vivos modificados (OVM) y nuevas tecnologías (tales como la EdGn) a la luz del enorme cúmulo de información científico-técnica disponible (Gould *et al.* 2022 y Camerlengo *et al.* 2022). Con ello, se aprovecharán las oportunidades que se abren en investigación, desarrollo, producción y comercialización.

Es oportuno mencionar que la regulación para plantas genéticamente modificadas muestra un desarrollo importante en varios países (BCH 2022). Sin embargo, la regulación para productos de la biotecnología animal es incipiente (Hallerman *et al.* 2022) y solo unos pocos países de América Latina (Argentina, Brasil, Colombia) cuentan con marcos regulatorios específicos en el tema, con lo cual se están perdiendo oportunidades enormes para el desarrollo del sector avícola, pesquero y ganadero.

Por lo general, se efectúan enormes esfuerzos para la educación, el entrenamiento y la comunicación de los aspectos científicos de la biotecnología, no así para los temas regulatorios. Por lo tanto, es necesaria la capacitación sistemática y frecuente a grupos específicos sobre estos temas y sobre la cooperación regulatoria en ámbitos binacionales, regionales y multinacionales. Esta facilitación podría ser realizada por instituciones internacionales de cooperación (Rocha-Salavarieta 2022). De este modo, con un ambiente regulatorio claro, predecible y basado en el rigor científico, el sendero biotecnológico que sustenta a la bioeconomía se desarrollará de manera segura y concluyente.

La edición génica es la tecnología de mayor potencial de desarrollo por su aplicación e impacto

La modificación genética consiste en un conjunto de técnicas que permiten hacer cambios sobre la dotación genética (genoma) de un organismo. Existen diversas posibilidades para tales cambios. La más natural es la mutación, fenómeno responsable de la evolución biológica y de la vida tal y como la conocemos. Luego está la selección para el mejoramiento de plantas y animales, con las que se han obtenido cultivos y razas desde el establecimiento de las sociedades humanas. Posteriormente se llega a diferentes innovaciones tecnológicas, por ejemplo: la mutagénesis física y química, como resultado de la utilización de radiación ionizante y de compuestos químicos, o la modificación genética con técnicas de biología molecular que permiten la introducción de genes de una especie en otra (transgénesis) o los más recientes, cambios (o ediciones) muy precisos de los elementos constitutivos de los genes y genomas.

Bajo el nombre de EdGn se incluyen varias herramientas que, en general, incorporan el reconocimiento, la ruptura y la reparación de la molécula de ADN para introducir cambios (o mutaciones) muy específicas, de manera controlada y segura. Dentro de tales técnicas, la más conocida es la de CRISPR-Cas. Desde su aparición en el 2012 (Jinek *et al.* 2012), CRISPR-Cas

ha mostrado su aplicación y su evolución (Camerlengo *et al.* 2022) en diversos sectores (salud humana, agrícola, pecuario e industrias variadas). Con EdGn en general y CRISPR-Cas en particular, las aplicaciones enfocadas en salud humana incluirán tratamiento de enfermedades hereditarias –en principio de carácter monogénico– y del cáncer, entendimiento y reversión del envejecimiento, generación y trasplante de órganos, entre otras (Balch 2021).

En el ámbito agrícola, las aplicaciones de la EdGn dependerán de cada cultivo y el problema por resolver. No obstante, las aplicaciones de CRISPR-Cas en cultivos se pueden resumir en (Karavolias *et al.* 2021): a) ampliación de la variabilidad genética por alteración o introducción de nuevas características a los cultivos (Schaart *et al.* 2016); b) mejora de la tolerancia de los cultivos a diversos tipos de estrés abiótico: sequía, salinidad e inundaciones; c) resistencia a plagas y enfermedades; d) incremento de rendimientos; y e) mejora de la calidad (incremento de metabolitos benéficos, alteración de macronutrientes y disminución de antinutrientes).

En animales, la EdGn consolidará sus aplicaciones (Hallerman *et al.* 2022) en: a) generación de sistemas de detección de enfermedades; b) desarrollo de tratamientos apoyados en biotecnología para control de enfermedades genéticas y virales (peste aviar, peste porcina); c) fomento del bienestar animal sin afectar el incremento de la productividad de los sistemas (por ejemplo: eliminación de prácticas como el sacrificio de pollitos de un día, la castración de cerdos, el corte y quemado de cuernos en bovinos, entre otros); y d) modificaciones para incremento de cantidad (animales de rápido crecimiento, incremento de masa muscular) y mejora de calidad (leche sin lactoglobulina, huevos sin ovomucoide).

La transgénesis seguirá empleándose cada vez menos, no porque sea insegura, sino porque, a diferencia de la EdGn, los costos para generar un OVM son altos (McDougall 2011), principalmente para cumplir con los requisitos regulatorios para la liberación al ambiente. Además, los desarrolladores de productos de la EdGn son más variados (Goberna *et al.* 2022) y la percepción pública sobre EdGn está siendo más positiva que sobre los OVM (Shew *et al.* 2018 y Civicscience 2022). En resumen, la bioeconomía encuentra en la EdGn una herramienta para su potencial consolidación.

Reconocimiento de las oportunidades y las limitaciones de la agricultura orgánica

Todas las formas de agricultura buscan producir más y mejor, pero lo hacen a través de rutas diferentes. Lo importante es que tales rutas contribuyan, de manera demostrada, a la sostenibilidad productiva, económica y ambiental.

La agricultura orgánica es un sistema de producción que trata de utilizar al máximo los recursos de la finca, dándole énfasis a la fertilidad del suelo y la actividad biológica y al mismo tiempo, a minimizar el uso de los recursos no renovables y no utilizar fertilizantes y plaguicidas sintéticos

para proteger el medio ambiente y la salud humana (Andersen, 2003).

Desde el punto de vista retórico, la declaración es robusta, pero desde el punto de vista práctico, y con el grado de incertidumbre técnica actual, migrar de un sistema de producción convencional a uno completamente orgánico sin una transición cuidadosa (fundamentada en las realidades de la producción y del consumo y en las prácticas de manejo y bioinsumos científicamente validados) es un reto casi inalcanzable para la mayoría de los cultivos.

La bioeconomía debe actuar con responsabilidad. En agricultura, no bastan las buenas intenciones y, aunque el deseo por reducir la carga de productos de síntesis química del ambiente es un objetivo legítimo, no es válido atacar –y peor aún desterrar por norma– las prácticas y productos del sistema convencional sin contar con alternativas científicamente validadas y funcionales. Un producto biológico no validado o mal empleado puede tener un potencial de daño más elevado que el de un producto de síntesis química oficialmente aprobado y apropiadamente manipulado (Xavier *et al.* 2015). De este modo, la biotecnología está llamada a validar el rigor técnico de los bioproductos y los bioprocesos empleados por la agricultura orgánica. Así, las decisiones sobre la implementación no llevarán a desastres económicos, sociales y de nutrición como los reportados recientemente en otras latitudes (Nordhaus y Shah 2022). La agricultura orgánica tiene un importante espacio de consolidación y la biotecnología puede contribuir a tal desarrollo.

Referencias bibliográficas

- Andersen, M. 2003. ¿Es la certificación algo para mí? - Una guía práctica sobre por qué, cómo y con quién certificar productos agrícolas para la exportación (en línea). San José, Costa Rica, Unidad Regional de Asistencia Técnica. 32 p. Disponible en <https://www.fao.org/3/ad818s/ad818s00.htm#Contents>.
- Balch, B. 2021. The future of CRISPR is now (en línea). Association of American Medical Colleges. Consultado 2 ene. 2023. Disponible en <https://www.aamc.org/news-insights/future-crispr-now>.
- BCH (Biosafety Clearing House). 2022. Organism Registry (en línea). Consultado 2 ene. 2023. Disponible en <https://bch.cbd.int/en/registries/organisms>.
- Camerlengo, F; Fritelli, A; Pagliarello, R. 2022. CRISPR towards a sustainable agriculture. *Encyclopedia* 2(1):538-558. Disponible en <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2010036>.
- Civicscience. 2022. Americans May Be Warming Up to CRISPR, but It's All in the Details (en línea). Consultado 2 ene. 2023. Disponible en <https://civicscience.com/is-the-public-warming-up-to-crispr-its-all-in-the-details/>.
- Civicscience. 2022. Americans May Be Warming Up to CRISPR, but It's All in the Details (en línea). Consultado 2 ene. 2023. Disponible en: <https://civicscience.com/is-the-public-warming-up-to-crispr-its-all-in-the-details/>
- Goberna, MF; Whelan, AI; Godoy, P; Lewi, DM. 2022. Genomic Editing: The Evolution in Regulatory Management Accompanying Scientific Progress. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* (10):835378. Disponible en <https://doi.org/10.1007/10.3389/fbioe.2022.835378>.
- Gould, F; Amasino, RM; Brossard, D; Buell CR; Dixon, RA; Falck-Zepeda, JF; Gallo, MA; Giller, KE; Glenna, LL; Griffin, T; Magraw, D; Mallory-Smith, C; Pixley, KV; Ransom, EP; Stelly, DM; Stewart, CN. 2022. Toward product-based regulation of crops (en línea). *Science* 377 (6610) pp-33-64. Disponible en <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abo3034>.
- Hallerman, EM; Bredlau, JP; Camargo, LZA; Dagli, MLZ; Karembu, M; Ngure, G; Romero-Aldemita, R; Rocha-Salavarieta, PJ; Tizard, M; Walton, M; Wray-Cahen, D. 2022. Towards progressive regulatory approaches for agricultural applications of animal biotechnology (en línea). *Transgenic Research* 31(2):167-199. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11248-021-00294-3>.

- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2013. Propuesta para la Construcción de una Política para el Desarrollo de la Industria de Bioinsumos en Argentina. Documento de trabajo IICA. Responsables técnicos: Rocha, P; Cussianovich, P; Buzzetti, G; Lacaze, G; Krotsh, T. San José, Costa Rica. 34 p.
- Jenkins, S. 2022. How the Russia-Ukraine War Helped Fuel Record Fertilizer Prices (en línea). Federal Reserve Bank of St. Louis. Consultado 2 ene. 2023. Disponible en <https://www.stlouisfed.org/publications/regional-economist/2022/oct/russia-ukraine-war-record-fertilizer-prices>.
- Jinek, M; Chylinski, K; Fonfara, I; Hauer, M; Doudna, JA; Charpentier, E. 2012. A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity (en línea). *Science* 337(6096):816-821. Disponible en <https://doi.org/10.1126/science.1225829>.
- Karavolias, NG; Horner, W; Abugu, MN; Evanega, SN. 2021. Application of gene editing for climate change in agriculture (en línea). *Frontiers in sustainable food systems* (5):1-23. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.685801>.
- McDougall, P. 2011. The cost and time involved in the discovery, development and authorisation of a new plant biotechnology derived trait. A Consultancy Study for Crop Life International.
- Naciones Unidas. 2015. La Agenda para el Desarrollo Sostenible (en línea). Consultado 2 ene. 2023. Disponible en <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>.
- Nordhaus, T; Shah, S. 2022. In Sri Lanka, Organic Farming Went Catastrophically Wrong (en línea). *Foreign Policy Magazine* 15(54): 83-92. Consultado 2 ene. 2023. Disponible en <https://foreignpolicy.com/2022/03/05/sri-lanka-organic-farming-crisis/>.
- Rocha-Salavarrieta, PJ. 2022. Regional Initiatives in the Western Hemisphere as a Contribution to the Safe Biotechnology Development (en línea). *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* (10):837635. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.837635>.
- Rocha, PJ. 2020. The Future of Modern Agriculture: Combining Sustainable Practices with New Technologies. En: Institute for Science on Global Policy (ISGOP) (en línea). *Science and Governance: The Future of Modern Agriculture*. Rome, Italia. Disponible en <https://scienceforglobalpolicy.org/publication/future-of-modern-agriculture-fma-september-22-2020>.

- Rocha, P; Villalobos, V. 2016. Biotecnología y bioseguridad: un conjunto de herramientas esenciales para el desarrollo de los sistemas agroalimentarios. En: Martínez-Carrera, D. Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México. Editorial del Colegio de Postgraduados-AMC-CONACYT-UPAEP-IMINAP, San Luis Huexotla, Texcoco.
- Sathee, L; Jagadhesan, B; Pandesha, PH; Barman, D; Adavi, S; Nagar, S; Krishna, GK; Tripathi, S; Jha, SK; Chinnusamy, V. 2022. Genome Editing Targets for Improving Nutrient Use Efficiency and Nutrient Stress Adaptation (en línea). *Frontiers in Genetics* (13):900897. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.900897>.
- Schaart, JG; van de Wiel, CCM; Lambertus, L. Marinus, S. 2016. Opportunities for products of new plant breeding techniques (en línea). *Trends in Plant Science* 21(5):438-449. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.11.006>.
- Shew, AM; Nalleya, LL; Snella, HA; Nayga, RM; Dixon, BL. 2018. CRISPR versus GMOs: Public acceptance and valuation (en línea). *Global Food Security* (19):71-80. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.10.005>.
- Xavier, V; Message, D; Picanco, MC; Chediak, M; Santana, P; Ramos, RS; Martins, JC. 2015. Acute toxicity and sublethal effects of botanical insecticides to honeybees (en línea). *Journal of Insect Science* 15(1):137. Disponible en <https://doi.org/10.1093/jisesa/iev110>.