

3.2 Capacidades en ciencia, tecnología e innovaciones para la bioeconomía de ALC

Autores: Trigo, E. (IICA); Chavarría, H. (IICA); Gamboa, H. (IICA).

Introducción: un panorama contradictorio

La ciencia, la tecnología y la innovación (CTi) son componentes centrales de la transición hacia la bioeconomía. Aparece como una condición indispensable para maximizar el aprovechamiento sostenible de los recursos y principios biológicos en la producción de nuevos bioproductos y bioservicios que sustituyan el paradigma fósil, junto con otras condiciones como la biodiversidad, las capacidades productivas e industriales y los servicios de apoyo para el financiamiento. La bioeconomía moderna busca cómo aprovechar los avances de la biología, la química, la física, las ciencias de materiales, las tecnologías de la información y comunicación (TIC) y las ingenierías, para reposicionar el papel de “lo biológico” en la economía y en la sociedad (Chavarría 2021). La CTi permiten incrementar la eficiencia de los procesos, la agregación de valor en cascada y la sostenibilidad ambiental.

Las estadísticas disponibles no permiten medir correctamente las capacidades de ALC en materia de CTi para la bioeconomía. En términos generales, ALC tiene deficiencias en la generación y acceso de datos y estadísticas referentes a CTi (y más si se trata de CTi enfocadas en bioeconomía). Los datos más relacionados con el tema son posiblemente los indicadores de gasto público, recursos humanos y líneas de trabajo de las instituciones públicas de investigación y desarrollo (I+D) de la agricultura (Nin-Pratt y Falconi 2018). Aunque esta información puede servir como proxy, no permite cuantificar las inversiones, la composición de la agenda de I+D ni las capacidades técnico-científicas de las instituciones públicas, privadas o académicas que están generando, transfiriendo o utilizando CTi para la bioeconomía de la región.

La situación de la CTi para la bioeconomía en ALC

ALC ha presentado un panorama contradictorio en el aprovechamiento de las CTi de la bioeconomía.

Algunos países de ALC han sido capaces de realizar un efectivo aprovechamiento productivo de la I+D agrícola y de las innovaciones asociadas a la bioeconomía. Ello se comprueba con una mirada de lo ocurrido a finales del siglo XXI en áreas como los organismos genéticamente modificados (OGM) en la agricultura, aplicaciones biotecnológicas, biocombustibles y agricultura baja en carbono. En aquel momento, varios países de ALC tuvieron las capacidades técnico-científicas para ser precursores en algunos de los principales senderos de la bioeconomía mundial (IICA 2020). Las inversiones pioneras –sumadas a los esfuerzos actuales– le han permitido a este grupo de países ser protagonistas y líderes en esos temas.

En biocombustibles, por ejemplo, Brasil y Argentina son líderes mundiales en la producción, exportación y consumo de bioetanol y biodiesel. Además, existen desarrollos significativos en otros países de la región, dentro de un marco de aprovechamiento de los recursos locales en cada caso y en procesos de creciente consolidación en los mercados locales (von Braun *et al.* 2023). Asimismo, en la región se encuentran 10 de los 29 países en desarrollo que utilizan biotecnología agropecuaria (Brasil, Argentina, Paraguay, Uruguay, Bolivia, Colombia, Costa Rica, Honduras, México y Chile). Brasil y Argentina ocupan el segundo lugar en cuanto a la extensión cultivada, la cual se concentra principalmente en soja y maíz, pero incluye también otros cultivos, como algodón, alfalfa, canola, caña de azúcar, poroto, ananá, cártamo y algunas ornamentales (Biotec-Latam 2022). Esto está directamente asociado con el reposicionamiento que la región ha tenido en los mercados de commodities globales y también con la adopción y difusión de la agricultura conservacionista (siembra directa, SD). Ello ha generado no solo grandes beneficios económicos, sino también importantes retornos ambientales (informes Argentina y Paraguay de la Bolsa de Cereales). La SD apareció como respuesta técnica al problema de degradación de los suelos laboreados y erosionados de la región pampeana y su amplia difusión respondió, fundamentalmente, a razones económicas como la reducción en el uso de combustibles fósiles y a su simplicidad operativa (Castilla 2013). Su aplicación mejoró las condiciones del suelo y permitió extender la frontera agrícola sobre tierras consideradas de baja aptitud agrícola.

En oposición, otros países de ALC (principalmente en la franja tropical) han tenido un bajo aprovechamiento de los senderos tecnológicos y productivos de la bioeconomía, debido principalmente a que no tuvieron capacidades en CTi para impulsarlas ni aprovecharlas, además de la ausencia de marcos normativos-reglamentarios, servicios de apoyo y financiamiento.

Inversión de CTi para la bioeconomía en ALC

A pesar de una larga trayectoria en CTi, en el nivel de agregado, la región invierte poco y tiene un pobre comportamiento innovativo.

ALC cuenta con el 8,3 % de la población mundial, contribuye con el 7,6 % del PBI global³⁰ y posee una extensa experiencia en CTi, lo cual se refleja incluso en varios premios Nobel en ramas vinculadas con la biología. Sin embargo, la inversión regional agregada representa tan solo el 2,3 % del total mundial, significativamente por debajo de lo que ocurre en otras regiones del mundo en desarrollo, particularmente en Asia (RICYT 2022). En relación con el PBI, un indicador globalmente aceptado como representativo del compromiso con el sector, los países de ALC invierten en ciencia y tecnología solo el 0,65 % (Brasil el 1,17 %, Argentina el 0,52 % y el resto de los países invirtió menos del 0,50 % de producto), frente a los niveles de más del 3 % que invierten países como Israel, EE. UU., Canadá, Corea y China. Por otra parte, las inversiones en

³⁰ Participación en PBI PPP global, según datos del Banco Mundial.

ALC están fuertemente concentradas en solo tres países: Brasil, México y Argentina. Estos representan el 84 % de la inversión total regional (RICYT 2022).

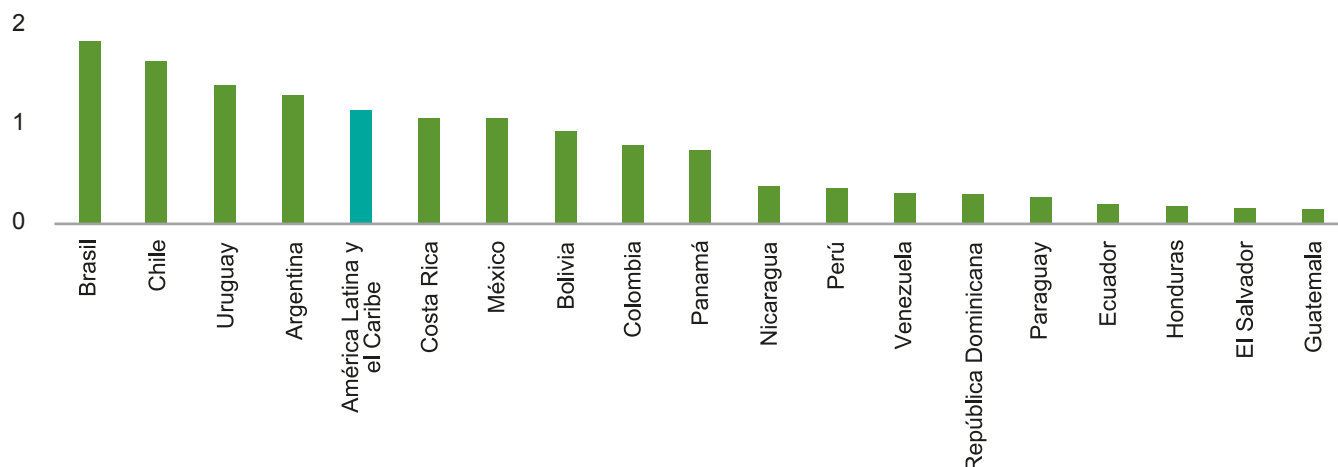
Las inversiones en CTI son solo uno de los factores que influyen en el comportamiento innovativo de las sociedades, pero los bajos niveles que presenta ALC se reflejan en la *performance* innovativa de la región en su conjunto y de los países individualmente. Según el último *Global Innovation Index Report* (WIPO 2022), en la lista de los 132 países analizados, el primer país latinoamericano que aparece es Chile, en el puesto 50, y solo 12 de los países de la región están entre los primeros 100.

Las inversiones en investigación agrícola, como un factor clave del crecimiento de la productividad y de la innovación en la agricultura y como insumo para el desarrollo de la bioeconomía siguen las mismas tendencias que los indicadores globales de CTI.

De acuerdo con *Agricultural Science and Technology Indicators (ASTI)*, elaborados por el *International Food Policy Research Institute* (Beintema 2020) los indicadores de inversión agrícola revelan bajos niveles de inversión en I+D para la agricultura de ALC, en comparación con otras regiones en desarrollo que han acelerado sus inversiones, por lo que las brechas son cada vez mayores. Además, en los últimos años, una parte importante de la cooperación internacional relacionada con CTi para el agro se ha direccionado hacia otros países y regiones en desarrollo que tienen indicadores socioeconómicos más bajos que ALC. Esto ha ocasionado que la brecha de inversión agrícola se ubique en 43 %, superior a Asia Pacífico (26 %) y a los países de ingreso alto (25 %). Esta brecha de subinversión potencial se calcula como la diferencia entre la inversión alcanzable y la inversión realizada. Para ello, ASTI desarrolló una medida (“índice de intensidad”) para estimar el nivel de inversión “alcanzable” de un país, que combina el tamaño del sector agrícola con tres variables adicionales: el tamaño de la economía, el nivel de ingreso y la disponibilidad de derrames tecnológicos provenientes de otros países. El gasto por debajo de este nivel de referencia se considera un indicador de potencial subinversión, con base en comparaciones de países con características similares (Beintema *et al.* 2020).

Los resultados también muestran grandes diferencias a lo interno de la región (Nin-Pratt *et al.* 2018). Los países del Cono Sur (principalmente Brasil, Argentina, Chile y Uruguay) tienen los mayores niveles de inversión en I+D, en comparación con los menores niveles en Centroamérica y los países andinos (figura 23). Aunque la inversión en I+D agrícola de ALC se ubica en 1,1 % con respecto al valor de su producto bruto agrícola Producto Bruto Agrícola (PBA) (Stads *et al.* 2016), lo cierto es que el objetivo de 1 % (estándar internacionalmente acordado) está lejos de alcanzarse en muchos países de la región. Al igual que en el caso de los indicadores generales de CTi, las inversiones del agro se concentran en solo un pequeño grupo de países que incluyen a los de mayor tamaño: Brasil, Argentina, Colombia y México (Echeverría 2021).

Figura 23. Gasto en investigación agrícola como proporción del PBA en ALC.

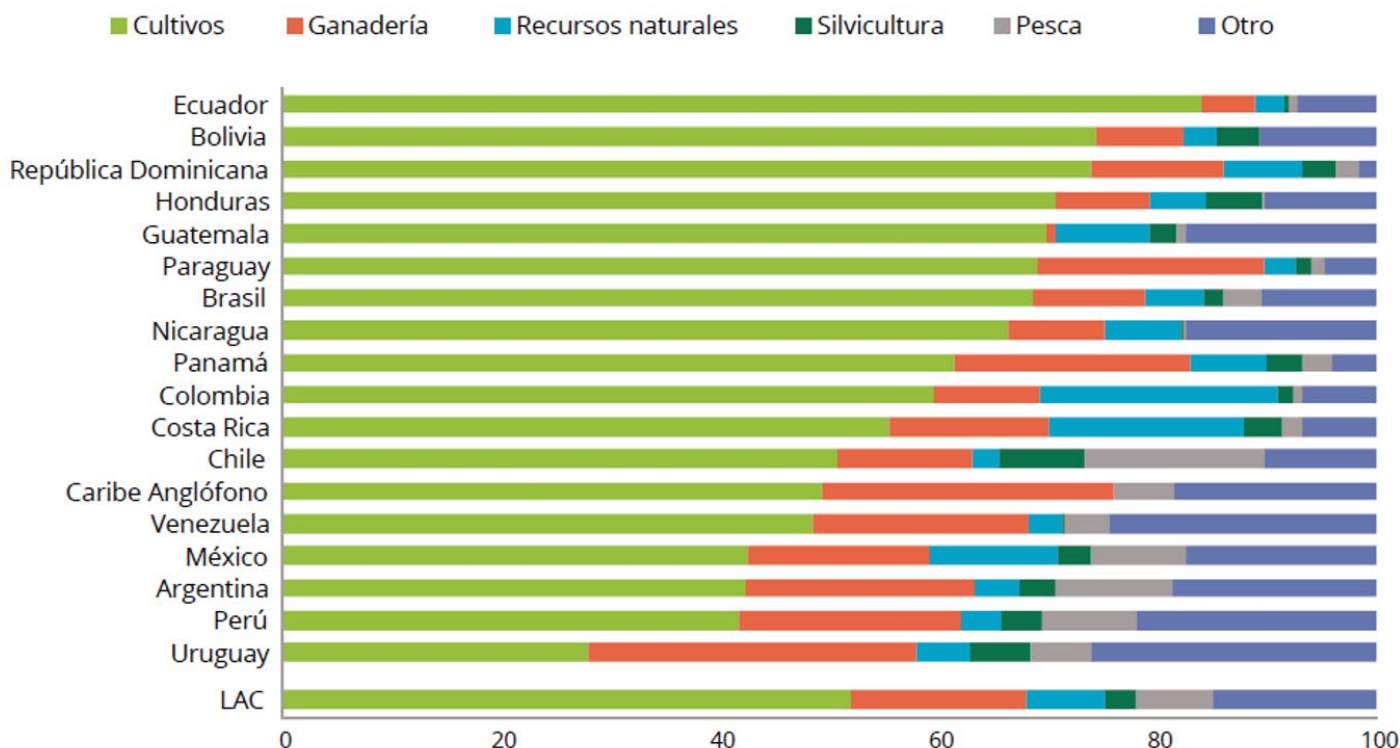


Nota: Último dato disponible.

Fuente: International Food Policy Research Institute (2023).

Además de ser bajas y estar concentradas en los países de mayor tamaño, las inversiones en I+D para el agro y los sistemas agroalimentarios se enfocan principalmente en resolver problemáticas productivas y sanitarias coyunturales (figura 24) y dejan de lado la investigación en temas prospectivos y de largo plazo (como los referentes a bioeconomía) (Nin-Pratt y Falconi 2018).

Figura 24. Enfoque de la investigación para la agricultura en ALC. Porcentaje de investigadores, promedio del 2012-2013.



Fuente: Stads *et al.* 2016.

Otro indicador relevante de la capacidad de los sistemas de CTi para el agro se refiere a la cantidad de recursos humanos y su nivel académico, como *proxys* de su potencial para proponer innovaciones en los sistemas agroalimentarios. En este caso y de acuerdo con la información disponible, se observa que el grueso de los recursos humanos está localizado en las instituciones de gobierno, principalmente en los institutos nacionales de investigación agrícola (INIA) y otras que albergan más del 60 % de los investigadores de la región, seguidas por las universidades y centros de educación superior Agricultural Science and Technology Indicators by International Food Policy Research Institute (ASTI-IFPRI). En países, Brasil, Argentina y México aparecen también con los mayores contingentes de investigadores (anexo 2). En cuanto al nivel de calificaciones académicas, el panorama regional es heterogéneo: Brasil encabeza el grueso de capacidades de la región (con el 73 % de su personal investigador con títulos de doctorado), lejanamente seguido por México (con 48 %).

Las deficiencias en los niveles de inversión en I+D, además de los contrastes en la cantidad y formación académica de los recursos humanos dedicados a esta, limitan significativamente la posibilidad de aprovechar el potencial de las nuevas tecnologías y la generación de conocimiento propio.

Las economías más pequeñas, que destinan mayores niveles de inversión nominal, enfrentan el desafío de crear una masa crítica de infraestructura de investigación, debido a que no logran generar economías de escala. Debido a sus limitadas capacidades financieras, humanas y académicas, gran parte de las instituciones de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) para el agro y la bioeconomía de ALC no logran desarrollar esquemas que permitan monitorear, adaptar y aprovechar las tecnologías y conocimientos existentes en otros países y regiones del mundo (desbordes tecnológicos) o colaborar con otros países para enfocarse en temas de relevancia común (Beintema 2020). Desde este punto de vista, es necesario un comportamiento dinámico de las instituciones públicas y del sector privado y que la región conozca lo que ocurre también en otras partes del mundo (Echeverría 2021).

Indicadores de desarrollo de la CTI para la bioeconomía en ALC

Luego de que se han considerado las capacidades de la región para la generación de tecnologías y conocimientos propios para la bioeconomía y si se toman en cuenta las limitaciones de datos y estadísticas mencionados en párrafos anteriores, se pueden señalar tres indicadores que pueden servir como proxy: a) número de publicaciones científicas en medios indexados, b) cantidad de patentes registradas y c) aparición y maduración de bioemprendimientos.

En relación con el número de publicaciones científicas y el potencial exportador de la región, resalta el bajo desempeño científico del agregado regional y el alto grado de concentración en pocos países. Brasil representa el 50 % de toda la región y toda ALC tomada en conjunto

presenta niveles de publicación por debajo de lo que publica Canadá o España (anexo 3). Es notable el reducido número de artículos publicados por los países de Centroamérica, más si se considera la presencia de tres universidades regionales, como el caso de Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (Universidad EARTH), la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), este último con una alta concentración en investigación.

La generación de conocimiento tecnológico relacionado con las tecnologías de frontera como la biotecnología y la biología molecular muestra resultados similares a los anteriores. Nuevamente Brasil, México y Argentina son los grandes productores de conocimiento en estas áreas (anexo 3).

De acuerdo con el estudio “Identificación y análisis de las capacidades institucionales, técnico-científicas y normativas de la biotecnología para la agricultura en diez países de América Latina y el Caribe” del IICA (2021), la agricultura es el área de mayor relevancia para la aplicación de la biotecnología en los diez países analizados en ALC (Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Guatemala, Honduras, Paraguay, República Dominicana y Uruguay). Por una parte, las empresas de la región son las instituciones que más invierten en I+D en biotecnología, con recursos provenientes de la venta de productos, razón por la cual los planes de comercialización son prioritarios. En general, los sueldos en el sector productivo son más competitivos que en la academia o en los centros de investigación. En la industria, la principal herramienta de la biotecnología es el uso de biorreactores para bioprocesos, seguidos de técnicas clásicas de cultivo de tejidos. Adicionalmente, con el propósito de resolver limitaciones en capacidades en las técnicas de biotecnología, las empresas recurren principalmente a universidades u otras empresas.

Por otro lado, los centros de investigación son organizaciones que se hallan en la intersección entre la academia, el sector productivo y los gobiernos. Su principal fuente de financiación es de origen público y se invierte gran parte en el pago de salarios. Precisamente, estas instituciones manifiestan que la financiación es uno de sus principales retos. La bioinformática es la herramienta más utilizada por los centros de investigación. Sus principales aliados son las universidades, otros centros de investigación y universidades extranjeras. Sin embargo, para el futuro cercano, su cooperación se proyecta a una mayor vinculación con el sector productivo. Las universidades de la región son los actores que más producción científica realizan en términos del promedio de publicaciones, patentes y secuencias genéticas en bases de datos. Sus recursos provienen, principalmente, de fondos públicos y se destinaron en su mayoría al rubro de personal. La financiación para la operación de los laboratorios y el pago del personal son identificados como una prioridad alta para la academia. Pese a que la inversión es un asunto crítico, las universidades cooperan principalmente entre ellas y con centros de investigación y no consideran prioritario establecer alianzas estratégicas con el sector productivo. La mayoría de las

universidades están interesadas en gestar procesos de cooperación internacional, principalmente, con sus homólogas extranjeras, al igual que con centros de investigación internacionales.

Finalmente, pese a los avances en biotecnología en el sector productivo, la academia y los centros de investigación, se observan temas pendientes, como el bajo número de solicitudes de patentes por los actores que realizan biotecnología. Además, se observa baja adopción de técnicas modernas como la edición génica y no se ha resuelto el problema sobre el acceso a recursos genéticos.

En definitiva, las organizaciones con recursos públicos se enfocan en la generación de conocimiento, mientras que las empresas del sector privado enfocan sus esfuerzos en generación de productos y servicios que permitan la recuperación de las inversiones en innovación. Como se indicó antes, las fuentes de financiación de los centros de investigación y las universidades provienen principalmente de recursos públicos, mientras que en las empresas los fondos provienen de la venta de productos.

Entre los principales desafíos identificados por los centros de investigación, se destaca el interés por obtener financiación. Mientras, el principal desafío de las empresas es enfrentar la inseguridad legal y las barreras regulatorias. Estos puntos deben abordarse de forma integral para lograr que la biotecnología pueda convertirse en una herramienta más potente, que catalice la conversión tecnológica de la agricultura en los países de la región.

Tampoco es buena la evolución regional del nivel de patentes, como aproximación de la generación de conocimientos que llega a los mercados. Aunque la información disponible no está actualizada, la poca existente resalta esta situación. Según International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA,) para el período 2006-2010, en cuanto al cultivo de soja (ISAA 2022) se identifican solo cuatro patentes solicitadas bajo título de Brasil o Argentina, frente a 93 para China y 672 para EE.UU. Un panorama similar se verifica en el caso de caña de azúcar, donde solo aparece Brasil con cinco solicitudes frente a 18 de EE.UU. y 175 de China. Esta situación no cambia mucho si el análisis incluye algunas de las etapas industriales vinculadas con el aprovechamiento de estos cultivos, donde se reportan diez patentes relacionadas con el etanol, frente a 230 para China, 214 para EE.UU. y ninguna en caso del biodiesel (Saucedo *et al.* 2011). Estos resultados son bastante optimistas con respecto lo reportado en los más recientes indicadores de Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT), donde el grueso de las patentes vigentes se encuentra en manos de extranjeros (RICYT 2022)³¹.

³¹ Esto también está en línea con lo ocurrió en el caso de los OGM, donde el grueso de las innovaciones provino del extranjero, aunque las variedades donde esas innovaciones se “montaron” fueron de origen nacional. Trigo *et al.* 2010

El tema de la aparición y maduración de bioemprendimientos será tratado en el último capítulo del presente documento.

Perspectivas a futuro

Aunque los retos son muchos, ALC tiene fortalezas sobre las cuales construir una agenda prospectiva de futuras políticas de CTi: a) existencia de “islas” de CTi en países y territorios que muestran aprendizajes y resultados muy prometedores; y b) iniciativas regionales en CTi de alta importancia que, si bien no están enfocados en bioeconomía, unen y atraen actores y acciones de gran potencial.

- Importantes innovaciones de origen regional. En varios países de la región se observan procesos de innovación que pueden considerarse como disruptivos y que tienen un origen y desarrollo totalmente local. Estas experiencias demuestran el potencial del sistema, a pesar de las limitaciones que se han analizado, sobre todo en lo referente a la importancia y potencial de la interacción entre las instituciones de I+D y los sectores productivos. En este sentido, vale la pena resaltar tres casos. El primero se refiere a la introducción del gen HB4 en soja y trigo por parte de la empresa Bioceres S.A. en Argentina, la cual se dio como resultado de una colaboración de la empresa con los centros de investigación públicos. La segunda experiencia se refiere al desarrollo del frijol tolerante al mosaico dorado, por parte de la Empresa Brasileira de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA), que es el primer cultivo de consumo directo que llega al mercado global (Norero 2021). La tercera experiencia se refiere al desarrollo del arroz resistente al tizón bacteriano (*Xanthomonas oryzae pv. oryzae*), por parte de científicos colombianos y de EE.UU. (Redagrícola 2020).
- La institucionalidad para la I+D agroalimentaria. Las instituciones nacionales de investigación agrícola (INIA), los mecanismos de cooperación regional y las iniciativas de I+D en universidades, centros de investigación y sector privado constituyen los principales activos de la región que se deben sentar las bases de las futuras políticas de CTi.
- Actualmente 24 de los 36 países de ALC cuentan con INIA e institutos nacionales de innovación y transferencia en tecnología (INTA) que tienen como misión fomentar el desarrollo de las ciencias, tecnologías e innovaciones para la agricultura y los sistemas agroalimentarios. Aunque es innegable que muchos tienen capacidades financieras y humanas reducidas y que otros han ido desplazando su agenda hacia temas de desarrollo rural, con un menor peso de la I+D, lo cierto es que los INIA y los INTA de la región tienen fuerte institucionalidad y presencia en la región (Trigo *et al.* 2013).
- Diferentes mecanismos regionales para fomentar la cooperación. Esta es otra de las fortalezas identificadas en la región, que ha contribuido de manera sustancial a la promoción

de la investigación colaborativa y la innovación. Entre ellos, los que más se distinguen son FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria), PROCISUR (Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur), PROCINORTE (Cooperative Program in Research and Technology for the Northern Region) y FORAGRO (Foro de las Américas para la Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario) (Sepúlveda 2019). A través de la cooperación internacional e intrarregional, estos mecanismos facilitan el acceso de los países a las tecnologías e innovaciones y, en alguna medida, limitan el impacto negativo de las bajas inversiones.

- Las universidades y centros educativos son actores clave como entes generadores de ciencia, tecnología y conocimiento para la bioeconomía. Como se indicó antes, las tareas de las universidades y centros educativos se centran principalmente en investigación académica con limitada vinculación a los sistemas productivos. En ALC existe también un creciente interés por las agencias de innovación, ya que su papel se destaca en la difusión de la ciencia y la innovación. Por lo general, las agencias de innovación no efectúan por sí mismas actividades de investigación o innovación, sino que financian la realización de estas actividades por parte de empresas, universidades, centros de investigación y desarrollo, empresarios e investigadores.
- Capacidades científico-tecnológicas. Para que la región pueda apostar a la bioeconomía como modelo de desarrollo y aproveche al máximo su potencial biológico, productivo y comercial, se requiere incrementar, fortalecer y direccionar sus capacidades científico-tecnológicas. Es decir, es necesario que los programas, acciones y proyectos que se aborden en el área innovación y bioeconomía para la región se encuentren orientados hacia ciertas áreas estratégicas, las cuales deben articularse con las necesidades de cada país para definir productos y servicios destinados a apoyar la innovación en los sistemas agroalimentarios locales.

A su vez, estas áreas estratégicas contribuyen a dar respuesta a cada una de las causas que subyacen a las dificultades de la apropiación de la innovación: a) fortalecimiento de capacidades de las instituciones nacionales de I+D: técnicas, humanas y financieras; b) apoyo en la construcción de agendas estratégicas de I+D; c) sensibilización y convencimiento sobre la contribución de la innovación para la transformación de los Sistemas Agroalimentarios (SAA); d) fortalecimiento de políticas e institucionalidad para la I+D+i en los SAA; e) apoyo en la formación o consolidación de redes y consorcios para la I+D+i; y f) fortalecimiento del ecosistema de incubación, escalamiento y aceleración de innovaciones para los SAA.

Recuadro 12. Las plataformas de CTi de la bioeconomía del futuro.

Si la región quiere realmente apostar a la bioeconomía como modelo de desarrollo y de esa manera aprovechar al máximo su potencial biológico, productivo y comercial, debe incrementar, fortalecer y direccionar sus capacidades científico-tecnológicas hacia distintas plataformas:

Potenciales aplicaciones de tecnologías claves de la bioeconomía

1) Edición génica en plantas

- Mejoramiento de rendimiento, aspectos agronómicos y de calidad.

2) Edición génica en animales

- Mejora de atributos productivos y de aptitud física en animales grandes.

3) Biotecnología forestal

- Identificación de genes asociados con el crecimiento de los árboles, el metabolismo secundario y resistencia al estrés biótico y abiótico.

4) Bio-insumos:

- Fijación biológica de nitrógeno de cereales en el suelo.

5) Biotecnología sintética

- Mejora fotosintética de las plantas.
- Arroz C4, mejora de eficiencia fotosintética y de uso de nitrógeno.

6) Nano-biotecnología en el agro

- Nano-sensores para monitorear señalización de las vías y el metabolismo de las plantas.
- Nano-partículas que se internalizan en las células de las plantas para potenciar la fotosíntesis.

7) Bioenergías

- Desarrollo de diésel renovable (HVO).
- Combustible sostenible de aviación (SAF).
- Etanol de segunda generación.

8) Bioinformática e inteligencia artificial

- Estudios de los cambios en comunidades microbacteriana en el suelo (metagenómica).
- AlphaFold: predicción de los modelos 3D de estructuras de proteínas.

Fuente: Feeney.

Referencias bibliográficas

- Beintema, NM.; Nin-Pratt, A; Stads, GJ. 2020. ASTI global update 2020. ASTI Program Note September 2020. Washington, DC, EE. UU., International Food Policy Research Institute (IFPRI). <https://doi.org/10.2499/p15738coll2.134029>.
- Beintema, NM. 2020. Underinvestment in Agricultural Research (en línea). ASTI in Retrospect 04. IFRPI. Disponible en <https://www.asti.cgiar.org/publications/asti-in-retrospect-04-underinvestment>.
- Biotec-Latam. 2022. Datos comparados (en línea, sitio web). Disponible en <https://biotec-latam.com/es/datos-comparados-3>
- Castilla, F. 2013. Siembra directa. La elegida para conservar el suelo. Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA) INTA 39(2). Buenos Aires, Argentina.
- Chavarría, H. 2021. Potencial de la bioeconomía para la transformación de los sistemas alimentarios (en línea). San José, Costa Rica, IICA. Disponible en <https://repositorio.iica.int/handle/11324/18564>.
- Echeverría, R. 2021. How to Feed the World Without Starving the Planet is a \$15 Billion Question. Inter-Press Service. Disponible en <http://www.ipsnews.net/2021/08/feed-world-without-starving-planet-15-billion-question/>.
- Feeney, R. Las plataformas de CTi de la bioeconomía del futuro. IICA. Enviado.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2020. Bioeconomía: potencial y retos para su aprovechamiento en América Central y el Caribe: manual de capacitación (en línea). San José, Costa Rica. Disponible en <https://repositorio.iica.int/handle/11324/18701>.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2021. Identificación y análisis de las capacidades institucionales, técnico-científicas y normativas de la biotecnología para la agricultura en diez países de América Latina y el Caribe. San José, Costa Rica, IICA.
- International Food Policy Research Institute. 2023. Countries and Regions. (en línea). Washington. IFPRI. Consultado 2 sep. 2021. Disponible en: <https://www.asti.cgiar.org/contact>
- ISAA Inc (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications). 2022 (en línea). Soybean (Glycine max L.) GM Events (43 Events). Disponible en <https://www.isaaa.org/g-mapapprovaldatabase/crop/default.asp?CropID=19&Crop=Soybean>.

- Nin-Pratt, A; Falconi, CA. 2018. The agricultural R&D investment gap in Latin America and the Caribbean (en línea). IFPRI discussion papers 1749. Disponible en <https://www.asti.cgiar.org/publications/lac-rnd-investment-gap>.
- Norero, D. 2021. La historia detrás del grano transgénico hecho con 100 % fondos públicos que llega a los platos brasileños (en línea). AgroAvances. Consultado 2 sep. 2021. Disponible en <https://agroavances.com/noticias-detalle.php?idNot=3452>.
- Redagrícola.2020. Colombia y EE.UU. aprobaron uso de arroz modificado genéticamente (en línea). Redagrícola. Disponible en <https://redagricola.com/colombia-y-ee-uu-aprobaron-uso-de-arroz-modificado-geneticamente/> .
- RICYT (Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología). 2022. El estado de la ciencia. Principales Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericanos/Interamericanos, RICYT/UNESCO.
- Saucedo, A; Boza, S. 2011. Análisis comparativo de patentes en la cadena de producción de biocombustibles entre América Latina y el resto del mundo. Comisión Económica para la América Latina. Santiago, Chile, CEPAL.
- Sepúlveda Alonso, J. 2019. Análisis de los mecanismos de cooperación para la innovación, PROCINORTE, PROCISUR, FONTAGRO y FORAGRO, apoyados por el IICA. San José, Costa Rica, IICA.
- Stads, GJ; Beintema, NM; Pérez, S; Flaherty, K; Falconi, CA. 2016. Agricultural research in Latin America and the Caribbean: A cross-country analysis of institutions, investment, and capacities. Washington, D.C., IFPRI, BID. Disponible en <http://ebrary.ifpri.org/cdm/ref/collection/p15738coll2/id/130310>.
- Trigo, E; Falck Zepeda, J; Falconi, C. 2010. Biotecnología agropecuaria para el desarrollo en América Latina: Oportunidades y Retos. Documentos de trabajo LAC 01/10, Programa de Cooperación, FAO/Banco Interamericano de Desarrollo, Servicio para América Latina y el Caribe, División del Centro de Inversiones.
- Trigo, E; Mateo, N; Falconi, C. 2013. Agricultural innovation in Latin America and the Caribbean: institutional scenarios and mechanisms. IDB Technical Note.
- von Braun, J; Afsana K; Fresco, L; Hag Ali Hassan, M. (eds). 2023. Science and Innovations for Food Systems Transformation, Springer Cham. Disponible en <https://doi.org/10.1007/978-3-031-15703-5>.
- WIPO (World Intellectual Property Organization). 2022. Global Innovation Index 2022: What is the future of innovation-driven growth? Ginebra. DOI 10.34667/tind.46596.

Anexos

Anexo 2. Cantidad de investigadores tiempo completo en ALC, año 2013.

| País | Investigadores a tiempo completo |
|------------------------------|----------------------------------|
| Brasil | 5869 |
| Argentina | 5825 |
| México | 3967 |
| Colombia | 1103 |
| Chile | 716 |
| Venezuela | 503 |
| Uruguay | 372 |
| Perú | 339 |
| Costa Rica | 242 |
| Paraguay | 210 |
| Rep. Dominicana | 200 |
| Bolivia | 190 |
| Ecuador | 149 |
| Guatemala | 142 |
| Panamá | 133 |
| Nicaragua | 131 |
| Honduras | 88 |
| Trinidad y Tobago | 83 |
| El Salvador | 77 |
| Jamaica | 62 |
| Belice | 13 |
| Barbados | 10 |
| Antigua y Barbuda | 8 |
| San Cristóbal y Nieves | 5 |
| Dominica | 3 |
| San Vicente y las Granadinas | 3 |
| Santa Lucía | 2 |
| Granada | 2 |

Fuente: IFPRI 2023 (Nota: The SCImago Journal & Country Rank is a publicly available portal that includes the journals and country scientific indicators developed from the information contained in the Scopus® database (Elsevier B.V.). These indicators can be used to assess and analyze scientific domains.)

Anexo 3. Cantidad de artículos sobre agricultura y ciencias biológicas publicados por investigadores e instituciones en América Latina entre 1996 y el 2021.

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Belice | 258 | 16 | 56 | 70 | 125 | 2 | 15 | 2 | 16 | 37 | 7 | 9 | 8 |
| El Salvador | 243 | 22 | 50 | 25 | 109 | 19 | 13 | 10 | 25 | 54 | 10 | 14 | 20 |
| Haití | 87 | | | | | 17 | 7 | 6 | 9 | 8 | 7 | 8 | 20 |
| China | 491069 | 80826 | 42182 | 42664 | 105222 | 87106 | 26162 | 17496 | 18986 | 106100 | 51550 | 115127 | 175043 |
| India | 186820 | 51661 | 27511 | 10726 | 28788 | 26644 | 5375 | 10802 | 8120 | 46536 | 15136 | 53915 | 51377 |
| Canadá | 174368 | 20040 | 32191 | 29415 | 63273 | 21286 | 14180 | 7024 | 11022 | 26575 | 11037 | 21618 | 69625 |
| España | 163720 | 20802 | 23189 | 22551 | 45476 | 34379 | 6763 | 9762 | 6769 | 28882 | 289437 | 21472 | 43965 |

Nota: The SCImago Journal & Country Rank is a publicly available portal that includes the journals and country scientific indicators developed from the information contained in the Scopus® database (Elsevier B.V.). These indicators can be used to assess and analyze scientific domains.

Fuente: Elaboración propia con base en Scimago Journal & Country Rank.