



SECCIÓN 1:

BIOECONOMÍA EN ALC:

**DEFINICIONES, SENDEROS Y
POTENCIAL PARA SU APROVECHAMIENTO**

SECCIÓN 1: BIOECONOMÍA EN ALC: DEFINICIONES, SENDEROS Y POTENCIAL PARA SU APROVECHAMIENTO

Autores: Chavarría, H. (IICA); Torroba, A. (IICA); Porras-Brenes, C. (IICA); Gamboa, H. (IICA); Rocha, P. (IICA); Blanco, M. (IICA).

1.1 El contexto

Desgaste y agotamiento de los modelos de desarrollo

Luego de la posguerra, los países de América Latina y el Caribe (ALC) han seguido una estrategia de desarrollo centrada en la industrialización, la cual busca emular los modelos exitosos de las naciones avanzadas. Este modelo ha enfrentado desafíos en términos de inversión, producción y tecnología, y ha debido adaptarse a sus mercados, más pequeños y menos competitivos. Además, su dependencia de los combustibles fósiles y materiales inertes le han planteado preocupaciones ambientales (Bisang y Regúnaga 2022).

Estos desafíos han sido muy evidentes desde hace más de 20 años, momento desde el cual muchos de los modelos de crecimiento de ALC vienen mostrando signos de agotamiento y ralentización. Las tasas de crecimiento de la mayoría de las economías cada vez son menores, así de la productividad factores y la inversión.

Además, se habían detenido las reducciones en los indicadores referentes a pobreza, desempleo, inseguridad alimentaria, entre otros. Incluso antes de la pandemia, la región ya mostraba un bajo crecimiento económico: en promedio un 0,3 % en el sexenio 2014-2019 (el menor de los últimos 40 años) y específicamente en el 2019, cuando presentó una tasa de crecimiento del 0,1 % (CEPAL 2020). Por su parte, el desempleo se venía incrementado moderadamente antes de la crisis por la enfermedad del coronavirus (COVID-19). Se estima que el número de desocupados en ALC habría aumentado en alrededor de un millón de personas al 2019, con lo que ascendería a 25,2 millones el total de personas que buscan empleo en la región. De esta manera, en términos absolutos, la desocupación alcanzó un nuevo máximo y sería superada luego con la crisis sanitaria.

Las proyecciones de población, ingresos y urbanización, que presagian un fuerte aumento de la demanda mundial de bienes y servicios, generan desafíos y limitaciones crecientes para el mundo, lo cual se agrava con los crecientes impactos del cambio climático y el deterioro de los recursos naturales. Estamos ante la urgencia de incrementar sustancialmente la producción de alimentos, energías, fibras y piensos en un escenario marcado por mayor degradación y competencia por los recursos naturales. Es obligatorio cumplir con compromisos ambientales internacionales, lo cual exige replantear y efectuar ajustes en el modelo de desarrollo actual, cuya

aplicación se inició con la Revolución Industrial y continuó con el uso intensivo del petróleo y sus derivados a la matriz energética. Además, en la actualidad, se requiere encontrar y promover un desarrollo económico que no solo fomente el incremento en los ingresos y mayores oportunidades en los territorios menos privilegiados, sino que también contribuya con la descarbonización y la sostenibilidad ambiental.

El impacto de las crisis en ALC

En los últimos cinco años, ALC ha estado azotada, de manera consecutiva, por varias crisis sanitarias, humanitarias y económicas, que han impactado fuertemente sus indicadores productivos, económicos y sociales. La confluencia de las crisis ocasionadas por la COVID-19, el conflicto bélico y la acumulación de sus efectos, está golpeando los sistemas alimentarios mundiales con impactos severos sobre la vida de millones de personas.

Por un lado, la pandemia por la COVID-19 fue causante de una de las mayores crisis socio-económicas en tiempos modernos en ALC. La pandemia provocó que el producto interno bruto (PIB) regional se contrajera 7 % en el 2020, la mayor caída de la actividad económica en 120 años y más del triple de la caída de todos los países emergentes y en desarrollo (FMI 2021). Como resultado de la recesión económica, la pobreza y la pobreza extrema se elevaron a niveles que no se habían observado en la región durante los últimos 12 y 20 años, respectivamente. Se estima que en el 2021 el 32 % de la población de ALC se encontraba en situación de pobreza y alcanzaba los 201 millones de personas. Por otro lado, la pobreza extrema alcanzó los 86 millones de personas; es decir, un 13,8 % de la población de ALC (CEPAL 2022). Estrechamente vinculado a los altos niveles de pobreza, 59,7 millones de personas padecieron hambre en el 2020, lo que muestra un aumento de dos puntos porcentuales con respecto al 2019. En otras palabras, en un año se sumaron 13,8 millones de personas (FAO 2022).

Por lo tanto, el aumento en la inseguridad alimentaria moderada o grave aumentó 9 puntos porcentuales y alcanzó 267 millones de personas (Naciones Unidas 2023). A esto se suman los efectos de la pandemia por el COVID-19 mencionados, eventos climáticos extremos cada vez más frecuentes que siguen afectando las cosechas y la oferta de materias primas y alimentos en el mundo.

A esta situación ya crítica, se le adiciona la crisis derivada de la guerra entre Rusia y Ucrania. Dicha guerra ha tenido impactos significativos en ALC a través de cuatro canales de transmisión: a) el comercio internacional; b) el efecto del aumento en los precios internacionales de productos básicos; c) los efectos de restricciones en la oferta y aumentos en los precios de los fertilizantes; y d) los aumentos en los precios de la energía y la seguridad del abastecimiento energético (IICA 2022 y Naciones Unidas 2023).

1.2 La bioeconomía como modelo de desarrollo productivo

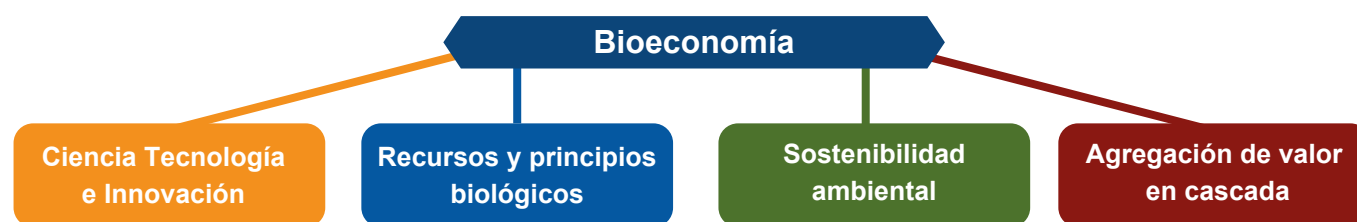
La bioeconomía es un abordaje de desarrollo que se incorporó en la realidad económica global de distintas sociedades y está dirigida inicialmente a capturar los beneficios sociales y económicos derivados de un aprovechamiento más eficiente y sostenible de los recursos y principios biológicos, a través de las oportunidades que ofrece la innovación asociada a las nuevas tecnologías (European Commission 2005). Más recientemente, el abordaje de la bioeconomía ha evolucionado hacia una visión más amplia y ambiciosa del desarrollo, necesaria para lograr los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS) al 2030 y fomentar el desarrollo económico y social. Para ello, se deben diseñar estrategias de descarbonización de la economía, indispensables para alcanzar el objetivo de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), de manera que el aumento de la temperatura media del planeta no supere los 1,5 °C para fines de este siglo (IPCC 2013).

La definición de la bioeconomía

La bioeconomía es definida internacionalmente como:

la producción, utilización y conservación de recursos biológicos, incluidos los conocimientos, la ciencia, la tecnología y la innovación relacionados con ellos, para proporcionar información, productos, procesos y servicios en todos los sectores económicos, con el propósito de avanzar hacia una economía sostenible (GBS 2018:02).

Figura 1. Principios de la bioeconomía.



De manera práctica y operativa, podemos decir que la bioeconomía consiste en un abordaje técnico-productivo que parte del aprovechamiento de los nuevos desarrollos técnico científicos, así como de la convergencia entre la biología, la química, las ingenierías, la física, las tecnologías de información y comunicación (TIC), la inteligencia artificial (IA) y otras, para valorizar al máximo la biomasa (agricultura, bosques, ganadería, pesca, residuos y otros) y los principios biológicos (fotosíntesis, fermentación, digestión, pigmentación, etc.) en la producción de nuevos bioproductos y bioservicios destinados no solo a la industria agrícola y alimentaria (como lo ha

hecho ALC históricamente), sino también a otras industrias de alta agregación de valor y crecimientos acelerados en los mercados nacionales e internacionales (como las industrias de la energía, la cosmética, la medicina, la química, la construcción, la moda, el turismo, la remediación, los servicios ambientales, entre otros).

En este abordaje conviven cuatro principios que deben cumplirse simultáneamente y de manera simbiótica: a) los desarrollos tecnológicos y productivos parten de lo biológico (tanto de los recursos como de los principios biológicos); b) hay una utilización intensiva de ciencia, tecnología y conocimientos; c) se agrega valor en cascada; y d) se contribuye con la descarbonización, la sustitución de productos fósiles y la sostenibilidad ambiental, tal y como lo muestra la figura 1.

La bioeconomía y la nueva frontera de Ciencia Tecnología e Innovación (CTI)

Los avances en la biología, la química, la física, las TIC, la ciencia de datos, las ingenierías y más recientemente la inteligencia artificial, nos han permitido comprender y aprovechar mejor las oportunidades que ofrecen los recursos y principios biológicos para la producción de nuevos bienes y servicios en balance con los beneficios ecológicos (Bröring *et al.* 2020). Actualmente existen mayores desarrollos técnico-científicos en cada una de estas ramas, pero también hay una acelerada “convergencia tecnológica” entre ellas que impulsan el desarrollo de cada campo específico y desdibujan los límites tradicionales, no solo entre las ciencias y tecnologías, sino también entre los sectores económicos y de políticas (Yang *et al.* 2023).

Los recientes desarrollos en materia de edición génica y biotecnologías, tecnología satelital, ciencia de datos, robótica e inteligencia artificial han permitido no solo incrementar aceleradamente la eficiencia y sostenibilidad de la producción de biomasa (cultivos, ganadería, pesca, bosques, etc.), sino también aumentar su aprovechamiento (reducción de pérdidas y desperdicios) para agregar valor (en bioproductos y bioservicios destinados a las industrias energéticas, alimenticias, químicas, etc.). Como lo menciona IACGB (2020), los nuevos desarrollos técnico-científicos, así como la convergencia entre ellos, aumenta la eficiencia y la productividad y resalta el valor intrínseco de los procesos naturales y biológicos. Para los próximos años, se espera que el desarrollo y la convergencia entre estas plataformas tecnológicas marquen el futuro de la bioeconomía en la región (figura 2).

Figura 2. Plataformas tecnológicas que marcarán el futuro de la bioeconomía.



El potencial de ALC para el aprovechamiento de la bioeconomía

El nacimiento del concepto de bioeconomía se remonta a la Europa de inicios de la década de los ochenta con Nicholas Georgescu-Roegen (Gowdy y Mesner 1998) y desde ese momento tanto la Unión Europea (UE) como otras regiones del mundo han apostado esfuerzos al fomento de políticas e inversiones para la promoción de la bioeconomía en sus cadenas y territorios. Sin embargo, lo cierto es que ALC es una de las regiones del mundo que tienen mayores potencialidades “innatas” para el aprovechamiento de la bioeconomía como modelo de desarrollo.

La riqueza biológica: ALC alberga el 50 % de la biodiversidad conocida, el 21 % de los ecosistemas terrestres, 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. Además, es la región en desarrollo con mayor proporción de tierra disponible apta para incorporarse a la agricultura. Estas condiciones hacen que ALC contabilice ocho de los 17 países más megadiversos del planeta (CEPAL *et al.* 2019).

Las capacidades productivas de su agricultura: ALC es la mayor productora y exportadora de biomasa del mundo. En el 2022, la región participaba con el 18,1 % de las exportaciones mundiales agroalimentarias y era líder en los mercados internacionales de soja (donde participa con el 58,1 % de las exportaciones mundiales), aceite de soja (60 %) y maíz (27,2 %), además de productos tropicales como café, cacao, piña y caña de azúcar. Por otra parte, la agricultura de ALC tiene un papel protagónico en la participación dentro del PIB (7 %) y la generación de empleos (14,5 %) (Trade Data Monitor 2023 y CEPAL *et al.* 2019).

Capacidades regionales instaladas en investigación y desarrollo (I+D) sobre temas prioritarios para la bioeconomía. Aunque en la mayoría de los casos los países de ALC muestran bajos niveles de inversión en materia de I+D y las agendas están enfocadas en temas de poca prospectiva (Echeverría 2023), la situación en la región es diferente. ALC cuenta con

diversas iniciativas regionales que, a través del trabajo conjunto de varios socios, ha mostrado resultados de alto valor y pueden ser el punto de partida para impulsar la I+D de la bioeconomía regional. Destacan los institutos del CGIAR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Instituto de Investigación y Desarrollo Agrícola del Caribe (CARDI), Programas de Cooperación Regional para la Investigación y el Desarrollo (PROCIS), Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura (PROMECAFE), Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO), Cámara Argentina de Biocombustibles (CARBIO), entre varios otros (CEPAL *et al.* 2019).

Potencial de la bioeconomía para la integración regional: El contexto actual abre inéditas oportunidades para que los países de ALC adquieran una posición competitiva y de liderazgo en el abastecimiento de mercados que muestran un creciente dinamismo y mayores exigencias en materia ambiental (Regúnaga y Bisang, 2022). Sobre esta línea, la bioeconomía se presenta como un innovador enfoque que promueve en la región no solo el desarrollo sostenible, sino también la integración económica y comercial. Los países de ALC tienen bases productivas de corte biológico, altas dotaciones de recursos naturales, potencial productivo y capacidades científicas, tecnológicas y empresariales en materia de biotecnología, biocombustibles, intensificación sostenible y servicios sistémicos. Todo esto le sirve de punto de partida para impulsar a la bioeconomía como estrategia compartida para la negociación frente a otros bloques y para la inserción en los mercados locales e internacionales que comienzan a demandar fuertemente bienes y servicios sustentables.

Las contribuciones de la bioeconomía al desarrollo

Como se resume en el cuadro 1, la bioeconomía como paradigma productivo puede contribuir con múltiples de los ODS de la Agenda 2030, gracias a su potencial para fomentar la reindustrialización sostenible a partir de lo biológico, la revitalización de las zonas rurales y la promoción de la sostenibilidad ambiental.

Cuadro 1. Contribuciones potenciales de la bioeconomía a los ODS.

Contribución potencial	ODS que contribuye
Modelos productivos que aprovechan la ciencia y la tecnología para usar de forma sostenible y eficiente los recursos biológicos, a fin de producir sustitutos de los productos petroquímicos (por ejemplo: bioenergía, biofertilizantes o bioplásticos) o de satisfacer las demandas de los nuevos consumidores (verbigracia, alimentos funcionales o biocosméticos).	<p>ODS 2: hambre cero</p> <p>ODS 3: salud y bienestar</p> <p>ODS 7: energía asequible y no contaminante</p> <p>ODS 9: industria, innovación e infraestructura</p> <p>ODS 13: acción por el clima</p>
Uso de prácticas productivas que contribuyen a la sostenibilidad y la resiliencia ambiental, mientras se agrega productividad y eficiencia.	<p>ODS 13: acción por el clima</p> <p>ODS 15: vida de ecosistemas terrestres</p>
Sistemas de producción de economía circular, por medio de la utilización productiva de biomasa de desecho derivada de los procesos de producción y consumo.	<p>ODS 11: ciudades y comunidades sostenibles</p> <p>ODS 12: producción y consumo responsables</p>
Desarrollo de productos, procesos y sistemas, a través de la reproducción de procesos y sistemas observados en la naturaleza.	<p>ODS 9: industria, innovación e infraestructura</p> <p>ODS 14: vida submarina</p> <p>ODS 15: vida de ecosistemas terrestres</p>
Biorremediación para enfrentar problemas de contaminación ambiental (por ejemplo: la recuperación de suelos degradados o contaminados y el tratamiento de aguas para consumo humano y de desecho).	<p>ODS 6: agua limpia y saneamiento</p> <p>ODS 15: vida de ecosistemas terrestres</p>
Incremento en la densidad económica de los territorios rurales, a partir de nuevos procesos de industrialización y el uso local de la biomasa para la generación de bioproductos y bioservicios.	<p>ODS 8: trabajo decente y crecimiento económico</p>

De acuerdo con las contribuciones mostradas en el cuadro 1, se logran determinar las oportunidades que ofrece la bioeconomía al diseño de nuevas estrategias de desarrollo económico y social. Esta busca replantear no solo las relaciones históricas entre diversos sectores tradicionales de la economía, como las de competencia entre la agricultura y la industria manufacturera, sino que también propone nuevas fronteras para el uso de la biomasa y la elaboración de productos para la medicina, la salud humana y animal. También abre un abanico de posibilidades para el desarrollo de cadenas de valor completamente nuevas, que contemplan la agregación de valor a partir de los residuos agrícolas, mediante la aplicación del enfoque de la economía circular.

En cuanto a los sistemas agroalimentarios, las contribuciones de la bioeconomía se resumen en cinco grandes categorías (Trigo *et al.* 2013), como se muestra en la figura 3:

Figura 3. Contribución de la bioeconomía al fortalecimiento y transformación de los sistemas agroalimentarios de las Américas.



Fuente: Trigo *et al.* 2013.

1. Ganancias en eficiencia y sostenibilidad en los procesos de los sistemas alimentarios gracias a la convergencia tecnológica. La convergencia de las ciencias, tecnologías y conocimientos permite aumentar los rendimientos, productividad y sostenibilidad ambiental, tanto en la generación de biomasa, como en los demás procesos de transformación y comercialización de las cadenas de suministro agrícolas y alimentarias. Además de reducir los residuos y desechos, permite que muchos de ellos sean insumos de nuevos procesos productivos.
2. Posibilidad de transformar los territorios rurales para generar ingresos, empleo y desarrollo. La mayoría de las nuevas industrias de bienes y servicios de la bioeconomía deben establecerse en los territorios donde están presentes la biomasa y la biodiversidad. Esto impulsará la diversificación económica, así como la creación de nuevos empleos e ingresos en las zonas

agrícolas y rurales. También fomentará la incorporación de pequeños productores y comunidades locales en las cadenas de valor de la bioeconomía. Además, la mayor disponibilidad local de energía sostenible y accesible fomentará nuevos desarrollos económicos y sociales en los territorios.

3. Mejor aprovechamiento de los recursos de los sistemas alimentarios a través de la agregación de valor en cascada. Gracias al craqueo eficiente e integral de la biomasa (biorrefinerías), la bioeconomía promueve industrias biológicas “multiproducto” que, además de generar bioproductos y bioservicios de mucho mayor valor en los mercados (como la bioenergía, los bioinsumos, los nutraceuticos y otros materiales biológicos para las industrias cosmética, farmacéutica y química), fomentan economías de escala y distribución de costos que incrementan sustancialmente la eficiencia y rentabilidad de todo el sistema.
4. Promoción de un mejoramiento en la nutrición y en la salud. La bioeconomía puede brindar aportes sustanciales para lograr una mejor nutrición, una mejor salud y estilos de vida más saludables, a través de la aplicación de tecnologías de fitomejoramiento convencionales o biotecnología moderna. Estas tecnologías están orientadas a aumentar la cantidad y calidad nutricional de los alimentos, la adopción de cultivos biofortificados que incrementan la disponibilidad de micronutrientes y la generación de nuevas variedades de alimentos que contribuyen con la diversificación de las dietas (sobre todo aquellos que valorizan los rasgos funcionales de la biodiversidad local).
5. Contribución a la sostenibilidad ambiental y la resiliencia climática. La bioeconomía fomenta nuevas industrias biológicas que sustituyen productos de origen fósil (como las bioenergías), promueve un mayor aprovechamiento de los residuos y desechos, promociona prácticas productivas y de transformación más sostenibles (como la agricultura de conservación) y aprovecha las soluciones basadas en la naturaleza para responder de forma multidimensional a los problemas que afectan al ser humano y al medio ambiente.

La bioeconomía y sus senderos

Así como no existe una sola definición o abordaje de bioeconomía, tampoco hay una única forma de implementarla o aprovecharla. Cada país, territorio o cadena implementa la bioeconomía de acuerdo con sus objetivos de desarrollo y sus recursos y principios biológicos, capacidades técnico-científicas, posibilidades industriales, demandas de los mercados, entre otros.

Por tanto, todos los países aprovecharán la bioeconomía de forma diferente. En algunos casos dicho aprovechamiento se realizará a partir de modelos productivo-comerciales que utilizan las tecnologías de punta intensivamente para manejar los recursos y principios biológicos (por ejemplo: las biofactorías que usan cultivos o animales genéticamente modificados para producir

nuevos productos, biorrefinerías que utilizan biomasa para la producción de bioenergías y biomateriales o la biosanidad que modifica los modelos sanitarios pre-existentes o los servicios bioeconómicos). En otros casos, podría basarse en modelos de tecnología tradicional que aprovechan en mayor medida la riqueza biológica presente en el territorio y en la cadena, por ejemplo: las producciones tradicionales que incorporan insumos biológicos, los productos agrícolas que utilizan los recursos de sus fincas para ofrecer servicios de ecoturismo o las industrias agrícolas y pecuarias que aprovechan sus residuos y desechos para la generación de bioenergías para autoconsumo, bioinsumos, productos alimenticios, entre muchas otras posibilidades.

No existe, entonces, un sendero único para aprovechar la bioeconomía. La ruta dependerá de los factores con que cuentan las cadenas y los territorios: base de recursos biológicos, tejido empresarial, estructura productivo-comercial, infraestructura-logística, capacidades técnico-científicas, tamaño del mercado y otros. También dependerá del uso que los agentes hagan de ellos (aprovechamiento de residuos/desperdicios, brechas de productividad, uso de recursos fósiles y posibilidad de sustituirlos, estado actual de las tecnologías en uso, aprovechamiento de la biodiversidad, entre otros).

Para que la bioeconomía pueda posicionarse como un modelo de desarrollo productivo, las diferentes formas de aprovechamiento de “lo biológico” deben generar complementariedades y sinergias. El aseguramiento de convergencia tecnológica y el craqueo integral de la biomasa posibilita que la bioeconomía pueda lograr las transformaciones económicas, sociales y ambientales que se requieren.

Para facilitar el entendimiento y ordenamiento de cómo la bioeconomía se puede aprovechar y operativizar en el terreno, desde el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) hemos categorizado las prácticas bioeconómicas en seis grandes senderos que se presentan a continuación. Esta es solo una abstracción que nos ayuda comprender los conceptos y las formas de implementación.

1. Bioprácticas y bioprocesos para el incremento de la eficiencia y ecointensificación.

Este sendero de la bioeconomía busca incrementar la eficiencia y sostenibilidad ambiental en el aprovechamiento de los recursos y principios biológicos en todos los eslabones y procesos de las cadenas agroindustriales de valor (desde la producción hasta la disposición final). En relación con la producción y más específicamente la generación de biomasa, busca incorporar prácticas agronómicas dirigidas a mejorar el desempeño ambiental de las actividades agrícolas (cultivos, pecuarios, forestales, pesca, entre otros) sin sacrificar los niveles existentes de productividad. Es decir, se espera alcanzar el equilibrio de beneficios agrícolas, ambientales, económicos y sociales, con el fin de lograr un uso eficiente de los recursos energéticos y reducir el uso de combustibles fósiles, pesticidas y otros contaminantes. En los

procesos de transformación, industrialización, comercialización y consumo, este sendero busca aumentar la cantidad y el valor de la producción agroindustrial como resultado del aprovechamiento de residuos o desechos, de la eficiencia en el consumo de agua y energía, de la reducción del desperdicio y del desarrollo de vínculos de mercado para productos y servicios innovadores de base biológica.

- 2. Aplicaciones y productos de la biotecnología.** La biotecnología incorpora todos aquellos productos o procesos que utilizan sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para crear o modificar productos o procesos con usos específicos (CBD 1992). Sus aplicaciones en los sectores agrícola, pecuario, médico, farmacéutico, industrial y ambiental convierten a la biotecnología en un sendero insustituible de la bioeconomía y en una disciplina clave para la consecución de varios de los ODS 2030. Las técnicas biotecnológicas son múltiples, desde aquellas generadas hace miles de años, que son fundamento de diversas industrias (agrícolas, pecuarias, alimenticias, de bioinsumos y otras), hasta tecnologías de punta que pueden hacer uso de genes. Estos son los elementos fundamentales de la vida como la conocemos sobre el planeta y con ellos se pueden utilizar innumerables aplicaciones. Sin embargo, aunque son notables los avances biotecnológicos, la desinformación asociada con la biotecnología es contrastante y preocupante. Por tal razón, actividades de comunicación y de construcción de capacidades son de gran relevancia para la consolidación de este sendero de la bioeconomía.

- 3. Bioproductos y bioservicios derivados de la biodiversidad local.** Los desarrollos recientes en TIC, así como las crecientes demandas de los mercados internacionales por nuevos productos alimenticios, cosméticos, nutracéuticos y recreacionales, han abierto grandes oportunidades para la identificación, mapeo y aprovechamiento sostenible de la riqueza biológica de ALC. A través de este sendero de la bioeconomía, se busca descubrir rasgos funcionales de la biodiversidad relacionados con nuevos usos y aprovechamientos, para posteriormente desarrollar bioproductos y bioservicios. Estos desarrollos de la bioeconomía requieren de la incorporación de innovaciones técnico-científicas que respondan a las realidades y necesidades locales, así como de nuevas agregaciones de valor, desarrollo de mercados diferenciados y otros. Este sendero de la bioeconomía es de especial importancia para los países de Mesoamérica y Amazonas, donde la amplia riqueza biológica no se ha traducido hasta el momento en mayores oportunidades de desarrollo socioeconómico y ambiental para las poblaciones locales. Como lo menciona BID (2023), aproximadamente el 40 % de los habitantes de la Amazonia viven en la pobreza, debido a los modelos de desarrollo económico y tecnologías actuales que no se adaptan bien a la realidad de la región.

4. Biocombustibles y derivados. Los biocombustibles son combustibles de origen biológico que permiten complementar y sustituir aquellos de origen fósil. Se encuentran en estado sólido, líquido y gaseoso con diferentes niveles de transformación respecto de la materia prima utilizada y tienen distintos tipos de uso. Los biocombustibles líquidos son los más desarrollados y se utilizan principalmente para descarbonizar el transporte terrestre (biodiesel y bioetanol). También emergen fuertemente combustibles de origen biológicos destinados a la aviación (Torroba 2023) y la navegación. Este sendero de la bioeconomía suele estar apoyado por políticas públicas que promueven su uso por tres tipos de fundamentos: a) aspectos medioambientales (reducción de GEI) y calidad del aire; b) desarrollo agrícola (agregado de valor, diversificación productiva, generación de empleos, entre otros); y c) diversificación-seguridad energética (Torroba 2022). La fabricación de biocombustibles líquidos se da a través de procesos productivos donde, de forma asociada, se produce una cesta de productos energéticos y no energéticos. Además de la producción de biodiesel, bioetanol y otros tipos de biocombustibles, se puede producir conjuntamente bioelectricidad, biogás, bioabono, granos destilados de alto contenido proteico, aceites, recuperación de CO₂ biogénico, glicerina y otros. Esta producción de biocombustibles posibilita la utilización de residuos como materia prima, lo cual incrementa la agregación de valor de la biomasa y ayuda a resolver pasivos ambientales de costos por tratamiento (por ejemplo: aceites vegetales usados para la producción de biodiesel y desechos orgánicos urbanos y agrícolas para producir biogás).

5. Biorrefinerías no energéticas (bioinsumos y bioproductos). Este sendero de la bioeconomía tiene relación con el aprovechamiento integral de la biomasa¹ para la producción de múltiples productos industriales con aplicaciones en diferentes sectores económicos, menos los energéticos señalados en el sendero anterior. Una biorrefinería se define como un sistema integrado y sostenible de procesamiento de la biomasa, que utiliza una amplia variedad de tecnologías y procesos (químicos, físicos y biológicos y otros) para convertir la biomasa en un espectro de productos y subproductos (de naturaleza energética y no energética) comercializables de valor añadido (López et al. 2020; Castro y Romero 2022; IEA 2012). Las biorrefinerías se caracterizan porque emplean fuentes renovables, en contraposición con las biorrefinerías petroquímicas convencionales que usan recursos de origen fósil no renovable (Celiktas et al. 2019). Es así como las biorrefinerías se consideran como una importante oportunidad para el desarrollo de la bioeconomía y una estrategia clave

¹ La biomasa es todo material de origen biológico que está presente tanto en cultivos energéticos, como en residuos agrícolas y forestales, en estiércol o en biomasa microbiana, pero excluye del concepto a la biomasa que se encuentra en los depósitos fósiles (FAO 2011 y Demirbas 2001). La biomasa puede provenir de cuatro fuentes principales: a) vegetal (resultante de la actividad fotosintética sobre los vegetales); b) animal (proveniente de las cadenas biológicas de los diferentes seres vivos que se nutren de la biomasa vegetal); c) residual (subproducto de las diversas actividades agrícolas, ganaderas, animales, forestales, industriales e incluso de residuos de zonas urbanas); y d) cultivos energéticos (proviene de cultivos como oleaginosas, poáceas y herbáceos que se destinan principalmente a la obtención de biocombustibles) (FAO 2011).

en la búsqueda de alternativas sostenibles a los combustibles fósiles y la reducción de la dependencia de los recursos no renovables. Además, las biorrefinerías pueden abordar desafíos ambientales, como la reducción de emisiones de GEI y la gestión de residuos, e impulsan el desarrollo económico basado en recursos renovables (Culaba *et al.* 2023).

6. Servicios ecosistémicos. Son aquellos beneficios que la biodiversidad y los ecosistemas aportan a la sociedad, mejoran la salud, la economía, la seguridad alimentaria y la calidad de vida de las personas. Se pueden categorizar en cuatro tipos de servicios, según el beneficio que ofrezcan: a) servicios de aprovisionamiento, que se refieren a la provisión de bienes como la madera, el agua o los alimentos; b) servicios de regulación, que ayudan a reducir ciertos impactos locales y globales por ejemplo: regulación del clima y del ciclo del agua, control de la erosión del suelo, polinización, entre otros; c) servicios culturales, los cuales se refieren a los beneficios para el disfrute del tiempo libre, el ocio o aspectos más generales de la cultura; y d) servicios de soporte, como la biodiversidad y los procesos naturales del ecosistema que son la base para el funcionamiento de los anteriores. Como lo menciona IPBES (2018), este sendero de la bioeconomía ha evolucionado en el tiempo y más recientemente se conoce como “contribuciones de la naturaleza a las personas”; estas contribuciones pueden ser positivas o negativas. Este es un sendero especial para ALC, como lo menciona IICA *et al.* (2023):

La región contiene el 40 % de la capacidad de los ecosistemas mundiales para producir materiales para el consumo humano y para asimilación de los subproductos derivados de dicho consumo, aun cuando apenas el 13 % de la población humana mundial vive en ALC. Esto se traduce en tres veces más recursos per cápita provenientes de los ecosistemas que los que están disponibles para un ciudadano global promedio (IICA *et al.* 2023: 105).

Cuadro 2. Prácticas de la bioeconomía por sendero.

Senderos de la bioeconomía	Prácticas de la bioeconomía por sendero
<p>Bioprácticas y bioprocesos para el incremento de la eficiencia y ecointensificación</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Prácticas agrícolas más eficientes en el uso y la aplicación de insumos químicos y para la contribución a salud de los suelos (cero labranzas, agricultura de conservación y otros). ● Prácticas para el manejo integrado de plagas y nutrientes. ● Uso de tecnologías limpias en procesos agroindustriales (aguas, desechos y otros). ● Prácticas para reducir las pérdidas y desperdicios en todos los eslabones de la cadena (almacenamiento bajo condiciones atmosféricas controladas, uso de películas protectoras y materiales de embalaje, industrialización de subproductos). ● Optimización del uso de agua y energía en los procesos agroindustriales.

<p>Aplicaciones y productos de biotecnología</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Biotecnología vegetal (cultivo <i>in vitro</i> de células y tejidos a diferentes escalas, selección asistida por marcadores moleculares, modificación genética mediante transgénesis o edición génica y demás herramientas de la ingeniería genética que contribuyen a la producción de nuevas variedades de plantas con mayor rapidez que antes, con características nutricionales mejoradas, tolerancia a condiciones adversas y resistentes a plagas y a herbicidas específicos). ● Biotecnología animal (fecundación <i>in vitro</i>, clonación, selección asistida y modificación genética para diagnóstico de enfermedades, desarrollo y producción de vacunas, terapia genética, identidad molecular y otros). ● Aplicaciones biotecnológicas en salud humana aparte de su aporte en medicina (vacunas, terapia génica), generación de alimentos funcionales: nutracéuticos, suplementos alimentarios, alimentos diseñados, farmalimentos, alimentos enriquecidos, medicalimentos, vitaminalimentos y otros). ● Biotecnología ambiental (biorremediación, manejo de residuos, biolixiviación, diagnóstico y detección de sustancias, entre otros). ● Aplicaciones industriales (identificación y uso de microorganismos y enzimas en diversos procesos industriales, biorreactores, biomateriales). ● Desarrollo y consolidación de la bioinformática.
<p>Bioproductos y bioservicios derivados de la biodiversidad local</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Descubrimiento y domesticación de biodiversidad local (genética de especies y ecosistemas). ● Transformación de biodiversidad local en productos de alto valor agregado, por ejemplo: super alimentos, complementos alimentarios, nutracéuticos, biocosméticos y otros. ● Apertura y aprovechamiento de nichos de mercados para productos de alta demanda nacional e internacional (asaí, morete, castaña del Brasil, aguaje, camu, palmeras amazónicas paiche, raya, aceites, resinas y otros). ● Extracción de microorganismos y principios activos para la generación de bioinsumos, medicinas y otros. ● Ecoturismo científico y bioturismo.
<p>Biocombustibles y derivados</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Biocombustibles: bioetanol, biodiésel, biocombustibles sostenibles de aviación, biocombustibles marítimos, biogás, biocombustibles sólidos, entre otros. ● Coproductos derivados: granos destilados, aceites, glicerinas, recuperación de CO₂, bioelectricidad, otras bioenergías, productos alimenticios, oleoquímicos y alcohóquímicos.

<p>Biorrefinerías no energéticas (bioinsumos y bioproductos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Productos químicos biobasados: antioxidantes, colorantes, conservadores, entre otros, para las industrias química, farmacéutica, de alimentos y de cosméticos. ● Biomateriales: bioplásticos, fibras naturales y biobasadas para la industria textil, del cuero y embalaje. Resinas y aditivos para la industria de la construcción. ● Productos para alimentación humana y animal (proteínas vegetales, fibra dietética, aceites esenciales y otros componentes nutricionales utilizados en la industria alimentaria y de piensos). ● Bioinsumos: bioestimulantes, biorreguladores, microorganismos benéficos, acondicionadores biológicos de suelo, extractos vegetales, promotores de crecimiento, biocontroladores, bioplaguicidas, solubilizadores de fosfatos, fitoreguladores, otros.
<p>Servicios ecosistémicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Servicios de apoyo (ciclo de los nutrientes, polinización, simbiosis, mantenimiento de diversidad genética y otros). ● Servicios de aprovisionamiento (materia prima para construcción, recursos genéticos, biofármacos, alimentos funcionales, biocosméticos, entre otros). ● Servicios de regulación (climática, de enfermedades, hídrica, de purificación del agua, precios sombra, créditos de carbono, tratamiento de aguas residuales y otros). ● Servicios culturales (recreación, agrobiourismo, inspiración, educación y otros).

Referencias bibliográficas

- BID (Banco Interamericano de Desarrollo). 2023. Hablemos de sostenibilidad y cambio climático (en línea). Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/biodiversidad-desarrollo-e-inclusion-en-la-amazonia/>
- Bisang, R; Regúnaga, M. 2022. La bioeconomía como estrategia para fortalecer la integración del Mercosur (en línea). San José, Costa Rica, IICA. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/21344/BCO22118631e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Bröring, S; Laibach, N; Wustmans, M. 2020. Innovation types in the bioeconomy (en línea). *Journal of Cleaner Production* 43(266):1-14. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121939>.
- Castro, E; Romero, I. 2022. Biorefinery Based on Waste Biomass (en línea). *Energies* 15(1):15-54. Consultado 16 jun. de 2023. Disponible en <https://doi.org/10.3390/en15010054>.
- Celiktas, M; Uyan, M; Alptekin, M. 2019. Biorefinery concept: Current status and future prospects in International Conference on Engineering Technologies. Conference 12, 2017, Konya Turquía.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2020. América Latina y el Caribe tendrá crecimiento positivo en 2021, pero no alcanzará para recuperar los niveles de actividad económica pre-pandemia (en línea). Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <https://www.cepal.org/es/comunicados/america-latina-caribe-tendra-crecimiento-positivo-2021-pero-alcanzara-recuperar-niveles>.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2022. Panorama social de América Latina y el Caribe 2022: La transformación de la educación como base para el desarrollo sostenible (en línea). Santiago, Chile, CEPAL. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/48518>.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe); FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura); IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2019. La bioeconomía: potenciando el desarrollo sostenible de la agricultura y los territorios rurales en ALC (en línea). San José, Costa Rica. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/12380/BVE20107947e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chavarría, H; Trigo, E; Villareal, F; Elverdín, P; Piñeiro, V. 2020. Policy Brief Bioeconomy: A Sustainable Development Strategy (en línea). Arabia Saudí. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en https://t20saudiarabia.org.sa/en/briefs/Documents/T20_TF10_PB13.pdf.

Congressional Research Service. 2022. The U.S. Bioeconomy: An Overview of Federal Activities (en línea). EE.UU. Consultado 12 jun. 2023. Disponible en <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R46808>.

CBD (Convenio sobre la Diversidad Biológica). 1992. Viviendo en armonía con la naturaleza (en línea). Organización de las Naciones Unidas. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <https://www.cbd.int/undb/media/factsheets/undb-factsheets-es-web.pdf>.

Culaba, A; Philip Mayol, A; San Juan, J; Ubando, A; Bandala, A; Concepcion II, R; Alipio, M; Chen, W; Loke Show, P; Chang, J. 2023. Design of biorefineries towards carbon neutrality: A critical review. *Bioresource Technology* (369):1-32.

Echeverría, R. 2023. Perspectivas sobre el financiamiento a la innovación, ciencia y tecnología agroalimentaria en América Latina y el Caribe. Diálogo regional sobre innovación, ciencia y tecnología en los sistemas agroalimentarios en América Latina y el Caribe. San José, Costa Rica.

European Commission. 2005. New perspectives on the knowledge based bio-economy: conference report. Transforming life sciences knowledge into new, sustainable, eco-efficient and competitive products (en línea). Bruselas, Bélgica. EC. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en http://edz.bib.uni-mannheim.de/daten/edz-bra/gdre/05/kbbe_conferencereport.pdf.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2022. Las tasas de pobreza en América Latina se mantienen en el 2022 por encima de los niveles prepandemia, alerta la CEPAL (en línea). Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <https://www.cepal.org/es/comunicados/tasas-pobreza-america-latina-se-mantienen-2022-encima-niveles-prepandemia-alerta-la>.

FMI (Fondo Monetario Internacional). 2021. La economía mundial se está afianzando, pero con recuperaciones divergentes en medio de aguda incertidumbre (en línea). Washington, EE.UU., FMI. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <https://www.imf.org/es/Publications/WEO/Issues/2021/03/23/world-economic-outlook-april-2021>.

- GBS (Global Bioeconomy Summit). 2018. Global Bioeconomy Summit Conference Report: Innovation in the Global Bioeconomy for Sustainable and Inclusive Transformation and Wellbeing (en línea). Berlin, Alemania, Federal Ministry of Education and Research. 76 p. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en https://gbs2020.net/wp-content/uploads/2021/10/Communique%CC%81GBS2018_final_Spanish.pdf
- Global Solutions Initiative Foundation gGmbH. 2023. Policy Briefs Search. Global Solutions Initiative, Global Solutions Summit (en línea). Berlin, Germany, GBS. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <https://www.global-solutions-initiative.org/policy-briefs-search/>.
- Gobierno de Colombia. 2020. Bioeconomía para una Colombia potencia viva y diversa: Hacia una sociedad impulsada por el conocimiento. (en línea). Bogotá, Colombia. 48 p. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/bioeconomia_para_un_crecimiento_sostenible-qm_print.pdf
- Gobierno de Ecuador. 2020. Ecuador promueve la bioeconomía como una estrategia para el desarrollo sostenible (en línea). Ecuador. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-promueve-la-bioeconomia-como-una-estrategia-para-el-desarrollo-sostenible/>
- Government of Canada. 2019. Bioeconomy Strategy: Driving Canada's Sustainable Future (en línea). Canadá. 68 p. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <https://www.canada.ca/content/dam/canada/earth-sciences/documents/canada-bioeconomy-strategy.pdf>
- Government of Canada. 2023. Canadian Agricultural Partnership (en línea). Canadá. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <https://agriculture.canada.ca/en/department/initiatives/canadian-agricultural-partnership>.
- Gowdy, J; Mesner, S. 1998. The Evolution of Georgescu-Roegen's Bioeconomics. *Review of Social Economy* 56(2);136–156. Consultado 16 jun. de 2023. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/29769942>.
- IEA (International Energy Agency). 2012. Key world energy statistics (en línea). París, Francia, OECD/IEA. 7 p. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <http://www.iea.org>.

- IICA (Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica). 2022. Plan de Mediano Plazo (PMP) para el período 2022-2026 (en línea). San José, Costa Rica, IICA. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/20969/BVE22098277e.pdf?sequence=5&isAllowed=y>.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica); BID (Banco Interamericano de Desarrollo); AgMIP (Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project); BIOFIN (Iniciativa finanzas para la biodiversidad); CGIAR (Consultative Group for International Agricultural Research); ACTO (Organización del Tratado de Cooperación Amazónica); Coalición de Economía Circular; Suricata, Albiotech; iGEM (International Genetically Engineered Machine). 2023. Informe sobre el estado y perspectivas de la bioeconomía en América Latina y el Caribe. (en edición). San José, Costa Rica.
- IPBES (Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre diversidad biológica y servicios de los ecosistemas, Alemania). 2018. Informe del plenario de la plataforma intergubernamental científico-normativa sobre diversidad biológica y servicios de los ecosistemas sobre la labor realizada en su sexto período de sesiones (en línea). Medellín, Colombia. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en https://www.ipbes.net/system/tdf/ipbes_6_15_add.2_spm_americas_spanish.pdf?file=1&type=node&id=28521.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis (en línea). Cambridge, Reino Unido y Nueva York, EE. UU., Cambridge University Press. 1535 p. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- López Neila, JC; García Acedos, M; Ruiz Fuertes, B. 2020. Biorrefinerías: El futuro para la transición hacia la (bio) economía circular. Industria química, bioenergía. España. 51 p.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2019. Bioeconomia Brasil – Sociobiodiversidade (en línea). Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-121-de-18-de-junho-de-2019-164325642>.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones. 2020. Estrategia Nacional Bioeconomía, Costa Rica 2020 - 2030 (en línea). San José, Costa Rica. 85 p. Consultado 16 jun. 2023. Disponible en https://www.conagebio.go.cr/sites/default/files/2022-11/Estrategia%20Nacional%20Bioeconomi%CC%81a%20CR_0.pdf.

- Naciones Unidas. 2023. Los ODS en América Latina y el Caribe: Centro de gestión del conocimiento estadístico (en línea). Consultado 16 jun. 2023. Disponible en https://agenda2030lac.org/estadisticas/banco-datos-regional-seguimiento-ods.html?indicador_id=4081&lang=es.
- Presidencia Argentina. 2023. Ministerio de economía, subsecretaría de alimentos, bioeconomía y desarrollo regional. Disposición 11/2023. Rosario, Argentina. 5 p.
- Torroba, A. 2023. Descarbonizando los cielos: biocombustibles sostenibles de aviación (en línea). Consultado 16 jun. 2023. Disponible en <https://repositorio.iica.int/handle/11324/21441>.
- Trade Data Monitor. 2023. Welcome to Trade Data Monitor (en línea, sitio web). Consultado 14 jun. 2023. Disponible en <https://www.tradedatamonitor.com/>.
- Trigo, EJ; Henry, G; Sanders, J; Schurr, U; Ingelbrecht, I; Revel, C; Santana, C; Rocha, P. 2013. Towards bioeconomy development in Latin America and the Caribbean (en línea). Cali, Colombia, ALCUE-KBBE. Consultado 14 jun. 2023. Disponible en https://agritrop.cirad.fr/567934/1/document_567934.pdf. (Bioeconomy Working Paper No. 2013-01).
- Yang, Y; Tan, X; Shi, Y; Deng, J. 2023. What are the core concerns of policy analysis? A multidisciplinary investigation based on in-depth bibliometric analysis. *Humanit Soc Sci Commun* 10 (190): 45-72. Consultado 14 jun. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01703-0>.