

NOTAS Y COMENTARIOS

**¿CÓMO CONSTRUIR UNA BIOECONOMÍA SUSTENTABLE?
POSIBLES TRAYECTORIAS Y REFLEXIONES SOBRE LOS
DESAFÍOS DE LA TRANSICIÓN^{° °}**

*¿HOW TO BUILD A SUSTAINABLE BIOECONOMY? POSSIBLE
TRAJECTORIES AND REFLECTIONS ON THE TRANSITION
CHALLENGES*

*Mac Clay, Pablo**
*Sili, Marcelo***

enviado: 26 agosto 2024 – aprobado: 3 septiembre 2024

Resumen

El concepto de bioeconomía ha cobrado creciente notoriedad en la última década. Desde el punto de vista empresarial, numerosas compañías desarrollan y adoptan tecnologías cimentadas en recursos biológicos. Desde las políticas públicas, cada vez más países presentan planes estratégicos para el desarrollo de la bioeconomía. No obstante, conviven actualmente una gran diversidad de definiciones, tipologías y escuelas de pensamiento alrededor del significado y alcance del concepto. En este artículo, proponemos una conceptualización integral y de carácter amplio sobre la bioeconomía. Presentamos una categorización respecto a los objetivos subyacentes

[°] Mac Clay, P., & Sili, M. (2025). ¿Cómo construir una bioeconomía sustentable? Posibles trayectorias y reflexiones sobre los desafíos de la transición. *Estudios económicos*, 42(85), pp. 211-232. DOI: 10.52292/j.estudecon.2025.4931

^{°°} Este artículo se enmarca en el trabajo llevado adelante por los proyectos SABio (Transformaton & Sustainability Governance in South American Bioeconomies) con financiamiento del *German Federal Ministry of Food and Agriculture* (BMEL) (Grant number 2219NR144) y el proyecto Transform2Bio (Integrated Transformation Processes and their Regional Implementations: Structural Change of Fossil Economy to Bioeconomy) financiado por el *Bioeconomy Science Center of the Federal State of North Rhine Westfalia* (No. 53F-50000-00-13050200).

* Center for Development Research, University of Bonn, Alemania; Centro de Agronegocios y Alimentos, Universidad Austral, Argentina. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0718-8002>. Correo electrónico: pmacclay@austral.edu.ar

** CONICET; Universidad Nacional del Sur, Argentina. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8666-0661>. Correo electrónico: sili.marcelo@gmail.com

a una transición de la economía fósil a una basada en el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, y las principales trayectorias tecnológicas actualmente disponibles para este fin. Finalmente, reflexionamos sobre los desafíos que implica la creación de nuevas empresas y cadenas de valor bioeconómicas, aportando al diseño de políticas públicas y estrategias empresariales para la transición.

Palabras clave: bioeconomía, sustentabilidad, innovación, tecnología, transición sustentable.

Códigos JEL: Q00, Q01, Q20, Q50

Abstract

The concept of the bioeconomy has gained increasing visibility in the last decade. From a business perspective, many companies develop and adopt technologies based on biological resources. From a public policy perspective, several countries present strategic plans for developing the bioeconomy. However, there is currently a great diversity of definitions, typologies, and schools of thought around its meaning and scope. This article proposes a comprehensive and broad conceptualization of the bioeconomy. We present a categorization of the main objectives underlying a transition from a fossil economy to one based on the sustainable use of natural resources, as well as the main technological trajectories currently available for this purpose. Finally, we discuss the challenges involved in the creation of new bioeconomic enterprises and value chains, contributing to the design of public policies and business strategies for the transition.

Keywords: bioeconomy, sustainability, innovation, technology, sustainable transition.

JEL codes: Q00, Q01, Q20, Q50

INTRODUCCIÓN

Nos encontramos actualmente en una era de manifiestas aceleraciones. Por un lado, la población crece rápidamente, especialmente en países en desarrollo, lo cual demanda nuevas respuestas en términos de producción y distribución de alimentos (Ritchie et al., 2023). Al mismo tiempo, existe una aceleración en el deterioro del entorno biofísico, a partir del exceso de emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (Lamb et al., 2021), el cambio en el uso del suelo que conlleva pérdida de bosques nativos (Radwan et al., 2021) y el impacto de la acción antropogénica en la reducción de la biodiversidad (Leclère et al., 2020). El desafío que se presenta a nivel global es claro: considerando que se ha observado una relación directa en el nivel de desarrollo de los países y la transgresión de límites biofísicos (O'Neill et al., 2018), urge encontrar nuevas estrategias de crecimiento económico inclusivo que se reconcilien con el sostenimiento de los límites planetarios.

En este sentido, el concepto de Bioeconomía (*bioeconomy* o *bio-based economy*) ha ganado considerable interés en la última década, como uno de los potenciales caminos por los cuales se puede lograr el doble objetivo de balancear el crecimiento económico (dando oportunidades de empleo y desarrollo regional) con la conservación del entorno medioambiental (incluyendo la mitigación de emisiones y preservación de la biodiversidad). El aumento en el número de publicaciones académicas vinculadas a la bioeconomía (Gould et al., 2023), y el diseño de estrategias y políticas de promoción de la misma en numerosos países (Dietz et al., 2018; Gardossi et al., 2023) son claros indicadores de la importancia que viene cobrando este concepto.

Teniendo en cuenta el creciente interés por este concepto, y la complejidad de ideas y propuestas en torno al mismo, el objetivo de este trabajo es generar un mapa conceptual sobre la bioeconomía, incluyendo su definición, objetivos y trayectorias posibles para transitar desde los modelos actuales de producción basados en recursos biológicos, a un modelo bioeconómico más complejo, generador de mayores encadenamientos y una lógica de economía circular, capaz de garantizar el crecimiento económico y la generación de empleo dentro de los límites planetarios. Pretendemos además esbozar algunos de los grandes desafíos que pueden ser reconocidos en términos empresarios para poder avanzar con efectividad en estos senderos o caminos hacia una bioeconomía sustentable. Este trabajo, de carácter exploratorio y conceptual, se fundamenta en una reflexión amplia sobre la base de la bibliografía internacional en términos de bioeconomía.

Para ello, presentamos en primer lugar una breve conceptualización de la bioeconomía y la enumeración de los grandes objetivos que persigue como nuevo paradigma de producción basado en recursos biológicos. Luego se avanza en entender cuáles serían los posibles caminos o trayectorias hacia una bioeconomía sustentable, sobre la base de las discusiones actuales en la literatura internacional. Por último, se avanza en plantear una serie de desafíos a los cuales se deben enfrentar las empresas para poder construir sus procesos productivos bajo este paradigma.

I. DEFINICIÓN, ENFOQUES Y OBJETIVOS DE LA BIOECONOMÍA

I.1. Definición y enfoques conceptuales

La bioeconomía aparece como un término polisémico con diferentes definiciones que varían según los continentes y países. De acuerdo la definición del Global Bioeconomy Summit 2018 (German Bioeconomy Council, 2018) la bioeconomía se considera como “la producción, utilización y conservación sustentable de recursos biológicos, abarcando conocimiento, ciencia, tecnología e innovación, para ofrecer soluciones sustentables a través de todos los sectores económicos y facilitar así una transición hacia un sistema económico sustentable”. Tomando la visión de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) desde América Latina, la bioeconomía ha sido definida como “una economía basada en el consumo y la producción de bienes y servicios derivados del uso directo y la transformación sostenibles de recursos biológicos y de los desechos biogénicos que se generan en los procesos de transformación, producción y consumo, aprovechando el conocimiento de los procesos y principios biológicos y las tecnologías aplicables al conocimiento y transformación de los recursos biológicos y a la emulación de procesos y principios biológicos” (Rodríguez et al., 2017).

Estas definiciones plantean implícitamente una combinación de producción sustentable de biomasa, la explotación de los recursos existentes con una perspectiva de conservación y una fuerte aplicación de conocimientos y tecnologías innovadoras para lograr nuevas soluciones que generen alternativas al paradigma de la economía fósil.

Más allá de estas definiciones surgidas en el ámbito técnico-político, la literatura académica internacional reconoce y pone de manifiesto la existencia de tres grandes enfoques o estilos de funcionamiento y desarrollo de la bioeconomía. Un primer enfoque, denominado *biomásico*, pone énfasis en los procesos de

producción y transformación sustentable de grandes volúmenes de biomasa. Se trata generalmente de empresas que integran el sector primario o industrial y aprovechan grandes volúmenes de biomasa o residuos de otros procesos productivos. Suele estar orientado a la producción de energía y alimentos. Dado que ya se dispone de tecnologías probadas para el desarrollo de estos productos, la innovación científica y tecnológica está más orientada a mejorar la eficiencia de los procesos productivos. Este modelo está más anclado al territorio debido a la dificultad de movilizar grandes volúmenes de biomasa (Bugge et al., 2016; Dürr & Sili, 2022; Vivien et al., 2019).

Un segundo enfoque denominado *biotecnológico* acentúa los aspectos tecnológicos, vinculados a las nuevas tecnologías de ingeniería genética y biotecnología. Este modelo ha sido claramente descrito por varios autores (Bugge et al., 2016; Dürr & Sili, 2022b; Levidow, 2015; Priefer et al., 2017). Incluye empresas que ponen énfasis en la generación y aplicación de conocimientos biotecnológicos modernos, apoyados por una fuerte relación con organizaciones científicas y tecnológicas, y conocimientos sustentados en gran medida por el desarrollo de propiedad intelectual.

Finalmente, tal como lo plantean numerosos autores, existe un tercer enfoque que está más centrado en la lógica de *valorización local de los recursos naturales y la biodiversidad*. Este modelo se caracteriza por utilizar menos biomasa, tener un carácter más local y utilizar tecnologías que garanticen la sostenibilidad de los recursos y la protección del medio ambiente, generando al mismo tiempo productos ecológicos y de calidad. Por lo tanto, no solo se utilizan tecnologías reconocidas internacionalmente, sino también tecnologías más adaptadas a las condiciones de los propios territorios (Bugge et al., 2016; Levidow, 2015; Priefer & Meyer, 2019).

Estos tres enfoques tienen un reflejo conceptual en la academia, y también implican diferentes aproximaciones estratégicas y de política pública. Mientras que en la Unión Europea (UE) y en América Latina ha primado principalmente el enfoque orientado a la producción y transformación de la biomasa (German Bioeconomy Council, 2018; Miranda et al., 2023), el enfoque biotecnológico también ha prevalecido en Europa, pero ante todo en Norteamérica, más vinculado al uso de la biotecnología, el potencial de desarrollo de la genómica y la genética animal y vegetal (Hodgson et al., 2022; Maxon, 2023). Finalmente, el enfoque centrado en la valorización local está más vinculado a la visión agroecológica y de valorización de la biodiversidad, por ejemplo en Brasil con el concepto de Amazonia 4.0 (Nobre & Nobre, 2020) o Colombia (Canales & Gómez Gonzáles, 2020).

I.2. Los objetivos de la bioeconomía

Más allá de los diferentes conceptos y enfoques, existen ciertos objetivos generales y compartidos por la bioeconomía, que hacen a su identidad como nuevo paradigma productivo. Estos grandes objetivos que persigue la bioeconomía son los siguientes:

Reducir el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero inherentes al paradigma de economía fósil. En rasgos generales, la bioeconomía busca corregir el desacople entre la captura y la emisión de carbono, poniéndolas en la misma era geológica (Trigo, 2016). La economía de los recursos fósiles se cimienta en aprovechar recursos que fueron generados en fotosíntesis de hace millones de años. A partir de la extracción y utilización de estos recursos (con su origen fundamental en las industrias de gas y petróleo, pero que luego son derramados en toda la cadena de actividades productivas), genera emisiones netas positivas de gases de efecto invernadero a la atmósfera sin un proceso evidente de compensación. La bioeconomía, por el contrario, se basa en la utilización de recursos naturales y organismos vivos, lo que permite que haya una captura de carbono a través de la fotosíntesis que generan las propias especies nativas, balanceando total o parcialmente las emisiones generadas (Hankamer et al., 2023). En la misma línea, la aplicación de principios de circularidad permite reducir otros impactos ambientales creados por el exceso de residuos de los procesos productivos y del consumo final, aspirando a una producción ambientalmente más sostenible (Viaggi, 2022; Viaggi & Zavalloni, 2021).

Generar empleos en los territorios rurales. Un segundo objetivo vinculado con la dimensión social es el crecimiento de empleos locales y regionales, ya que una de las principales características de la bioeconomía es que impulsa un desarrollo descentralizado y busca ser la base para la creación de empleos locales (Sili & Dürr, 2022). Un desarrollo exitoso de una bioeconomía sostenible podría generar una ruptura entre la dicotomía tradicional de “economía primarizada” versus “economía industrializada”. Esto ocurre a partir de la posibilidad de procesar recursos en una escala local y generar biofábricas o biorrefinerías que permitan crear empleos y evitar migraciones internas (Cerca et al., 2022). Siendo la biomasa muy voluminosa y por tanto ineficiente para su traslado en grandes distancias (Trigo, 2016), la valorización y el procesamiento de estos recursos debe necesariamente darse en la región de origen. Esto también permite que haya procesos que puedan ser integrados en escalas medias o bajas.

Optimizar el uso del suelo. Una de las grandes cuestiones que ha sido tanto factor de emisiones de carbono como de pérdidas de biodiversidad es el cambio en el uso del suelo. La necesidad de mayor producción de alimentos ha llevado a un importante corrimiento de la frontera agrícola desplazando a otros ecosistemas, un proceso que se ha acelerado largamente en las últimas tres décadas, especialmente en América Latina y África (Winkler et al., 2021). El simple requerimiento de mayor uso de biomasa implicaría un riesgo en términos de mayores necesidades de uso del suelo (Escobar et al., 2018; Nong et al., 2020). En este sentido, una bioeconomía sostenible busca que haya una optimización de la producción en el área ya disponible, deteniendo potenciales cambios adicionales e incluso promoviendo prácticas de reforestación y aforestación (von Braun, 2018). Por otra parte, un aprovechamiento con eficiencia máxima de las hectáreas que ya son dedicadas a la agricultura permite aspirar a maximizar la producción de alimentos, priorizando el uso alimenticio de la biomasa (*food first*).

Generar un mayor valor económico en torno a la naturaleza. Finalmente, un último punto inherente a la bioeconomía tiene que ver con la armonía con el entorno y la generación de valor económico aprovechando la naturaleza. Los recursos naturales biológicos, además de tener un valor de conservación, pueden ser también fuente de ingresos para las comunidades locales si son administrados en forma racional y equilibrada a través del tiempo. Entender la complejidad de los ecosistemas, la forma de interrelación de los distintos componentes que forman el ambiente biofísico y la diversidad de biomas es clave para el descubrimiento de nuevas fuentes de valor que puedan ser explotadas sosteniblemente (Deciancio & Mac Clay, 2023; Desmarchelier, 2015).

II. LAS TRAYECTORIAS POSIBLES PARA CONSOLIDAR UNA BIOECONOMÍA SUSTENTABLE

Una discusión importante en el ámbito académico y político es cómo pasar de sistemas de producción tradicionales basados en la explotación de los recursos naturales de origen biológico a construir un nuevo modelo o paradigma de producción en torno a los recursos biológicos, que cumpla con los grandes objetivos planteados anteriormente. Es decir, cómo asegurar un proceso de transición hacia una bioeconomía sustentable. En la literatura reciente diversos autores han hecho varias propuestas conceptuales que permiten caracterizar las formas posibles para construir una bioeconomía sustentable. Dietz et al. (2018) presentan por un lado 4 diferentes caminos de transformación (*transformation paths*), esta fue ampliada luego por Sili & Dürr (2022). Bröring et al. (2020) proponen una tipología de

innovaciones capaces de avanzar en la construcción de la bioeconomía (*innovation types*) y Mac Clay y Sellare (2025) desarrollan una tipología de cadenas de valor bioeconómicas (*bio-based value chains*).

Las propuestas de trayectorias para la construcción de una bioeconomía sustentable están moldeadas o definidas por una combinación de factores de producción, en la cual sobresalen dos elementos claves: (i) el tipo y volumen de biomasa involucrada, y (ii) el rol y la maduración que tiene la innovación en un sentido amplio del término, es decir, innovaciones de productos y también de procesos. Así, tomando como base las propuestas conceptuales existentes, se podría considerar que existen tres grupos o familias de trayectorias de desarrollo de la bioeconomía.

II.1. Trayectorias de consolidación de la bioeconomía basadas en el desarrollo tecnológico y bajos requerimiento de biomasa

Estas trayectorias se sostienen en el fuerte desarrollo tecnológico, con un *mix* importante de biotecnología y trabajo en laboratorio, pero con bajos requerimientos de biomasa como insumo. Los tipos de trayectorias que podemos observar dentro de este grupo son los siguientes.

1. Producir biomasa en forma más sustentable y eficiente. Esto implica generar la mayor producción posible por hectárea puesta en producción minimizando los recursos que para ello se utilizan, reduciendo así tanto el riesgo de futuros cambios en el uso del suelo como la huella de carbono de la producción actual. Este camino consiste en un set de tecnologías que busca garantizar la sustentabilidad en la producción de la biomasa. Luego de la primera irrupción de la biotecnología de semillas a mediados de los 90, hoy estamos viendo una nueva generación de tecnologías genéticas (como la edición génica) y las tecnologías de precisión basadas en digitalización, imágenes satelitales y robótica (Klerkx & Rose, 2020; Klerkx & Villalobos, 2024; Mac Clay, 2024). Esto permite una mayor precisión en la producción, identificando puntos críticos de pérdida y eficientizando la gestión agronómica y productiva, lo que debería redundar en menor necesidad de aplicaciones de agroquímicos y fertilizantes y menores pérdidas por distintas patologías. No obstante, más allá de un desarrollo acelerado de la oferta, existen aún desafíos en término de la real adopción de estas soluciones (Fiocco et al., 2023).

2. Reemplazar a partir de técnicas de laboratorio productos con elevado impacto ambiental. Otra de las nuevas tecnologías de vanguardia que cimientan la bioeconomía es la producción de sustancias que actualmente se extraen de la

naturaleza a través de la biología sintética. El uso de recursos naturales para la producción de alimentos, ingredientes, productos médicos o sustancias industriales puede derivar en un considerable impacto ambiental. Un caso paradigmático a nivel global es el de la producción de *artemisinina* que se utiliza para el tratamiento de la malaria. Normalmente este producto se extraía de árboles, pero hoy puede producirse en laboratorio replicando esos procesos (Kung et al., 2018). También se están explorando diversas aplicaciones en lo que se conoce como agricultura celular, para la sustitución en laboratorio de proteínas animales. Si fuese factible el escalado de estas tecnologías, podría mitigarse parte de los impactos ambientales y las demandas de uso del suelo que se generan por la producción animal. Diversas empresas y startups a nivel global están trabajando para imitar proteínas animales sin la necesidad de producción a campo (Good Food Institute, 2022), aunque estas tecnologías todavía no resultan competitivas ni eficientes contra la producción tradicional y requieren maduración para su real escalado.

3. *Valorizar lo "invisible"*. Existen millones de microorganismos que pueden cumplir diferentes funciones en el suelo, pero aún solo se utiliza una pequeña parte de estos (Curtis & Sloan, 2005; Hug et al., 2016). El mundo de la microbiología tiene un gran potencial, particularmente en la agricultura. La utilización de microorganismos (virus, bacterias, hongos), macroorganismos (insectos, ácaros) y otras sustancias naturales tales como las feromonas facilitan la bioestimulación de cultivos, la eficientización de la fertilización a partir de la fijación de nitrógeno o la solubilización de fósforo y además otras prácticas de biocontrol de insectos y hongos (Adesemoye, 2017). De hecho, el mayor conocimiento del microbioma del suelo permite calibrar mejor la producción agropecuaria, beneficiando de la actividad microbiana propia de cada bioma (Lutz et al., 2023). Si bien la mayoría de las empresas del sector está intentando de alguna u otra forma incorporar productos de bioestimulación y biocontrol en el mix de insumos, existen todavía desafíos para el escalado de estos productos (da Silva Medina et al., 2023). También en el campo de la microbiología, existen aplicaciones muy interesantes en el campo de la salud, por ejemplo a partir del mapeo de la microbiota intestinal y la nutrición de precisión (Thursby & Juge, 2017).

II.2. Trayectorias basadas en innovaciones organizacionales y requerimientos moderados de biomasa

En estos casos los desafíos no son principalmente tecnológicos, porque las tecnologías ya están maduras o adaptadas al entorno, sino que se requieren más innovación organizacional, es decir nuevas formas de hacer las cosas. Algunos de estos caminos posible son los siguientes:

4. *Valorizar la biomasa residual.* Uno de los aspectos que hacen a la bioeconomía sostenible es el principio de circularidad. Contrariamente al modelo lineal que extrae elementos de la naturaleza, desarrolla productos y genera posteriormente residuos sin un destino claro, la economía circular busca ser regenerativa, reintroduciendo en el sistema los deshechos de los distintos procesos productivos. El objetivo último del paradigma circular es desacoplar el crecimiento económico del consumo de recursos y la consecuente generación de desperdicios (Ellen MacArthur Foundation, 2021). En el corazón de la bioeconomía circular está el concepto de biorrefinerías locales y regionales, en donde a partir de un flujo de biomasa *input* se generan diferentes bioproductos (Salvador et al., 2021). En estos flujos circulares se procesa o consume biomasa procedente de sistemas de producción acuíferos, cultivos extensivos e intensivos, de pasturas y forestales, en tanto los subproductos y residuos se reciclan de nuevo en el sistema (Muscat et al., 2021). El caso más tipo es el de la producción de biogás a partir de residuos de la industria ganadera, alimenticia y forestal (Bahrs & Angenendt, 2019). También se están viendo a nivel global, por ejemplo, modelos de negocios en insectos que son alimentados con sustratos de residuos de otros procesos productivos (Niyonsaba et al., 2023), o producción de biocombustibles a partir de aceite de cocina usado (Suzihaque et al., 2022).

5. *Puesta en valor de la biodiversidad en procesos socio-ecológicos locales.* Como mencionamos previamente, uno de los abordajes conceptuales de la bioeconomía está basado en un enfoque socioecológico. En términos prácticos, este tipo de procesos utiliza biomasa en una menor escala y tienen un carácter más local. Además, se basa en tecnologías que muestran cierta armonía en cuanto a la sostenibilidad del entorno natural. Estos procesos y tecnologías no son necesariamente importados, sino que están adaptados a la escala y condiciones de los propios territorios. Adicionalmente, estas trayectorias tecnológicas tienen un gran potencial para garantizar la dimensión de la inclusión en la bioeconomía, a partir del impacto local que generan tanto en términos de empleo como de encadenamientos productivos.

II.3. Trayectorias basadas en la disponibilidad de biomasa y nuevos requerimientos de innovación

Se trata de una trayectoria en la cual las tecnologías y los procesos productivos no están en una etapa de madurez y se requiere más investigación, conocimientos y avances tecnológicos para aprovechar más adecuadamente la biomasa disponible. Algunos de los caminos posibles dentro de este grupo son los siguientes:

6. *Crear nuevos usos para la biomasa tradicional.* Parte de los primeros desarrollos incipientes en torno al concepto de bioeconomía han estado relacionados con generar nuevos usos para las biomásas ya conocidas, principalmente los cultivos alimenticios de primera generación como la soja, el maíz o la caña de azúcar, entre otros. La convergencia de las cadenas alimenticias y energéticas ha sido de los primeros desarrollos en torno al agregado de valor a la biomasa de primera generación (Boehlje & Bröring, 2011). Este primer nivel de transformación está normalmente basado en tecnologías que ya exhiben cierto grado de madurez (Mac Clay & Sellare, 2025). No obstante, hoy se requieren nuevos usos en cascada, que maximicen el valor agregado por unidad de biomasa que ingresa al flujo de producción, obligando a las empresas a generar nuevos procesos de innovación (Dürr et al., 2024). Ejemplos incipientes de esto están relacionados, por ejemplo, a bioplásticos de segunda generación a partir de biomasa lignocelulósica, desarrollos a partir de glicerina cruda de soja, bioplásticos a partir de almidón de maíz o paneles de construcción realizados sobre rastrojo de trigo, entre otros.

7. *Crear valor en torno a nuevas fuentes de biomasa.* Un potencial problema inherente a la biomasa de primera generación es que su uso a gran escala puede quitarle sustentabilidad a la bioeconomía. Esto se debe no sólo a la competencia con el uso alimenticio, sino también a una presión adicional sobre el cambio del uso del suelo (Escobar et al., 2018). En este sentido, la migración hacia prácticas que utilicen nuevas fuentes de biomasa, que no compitan por alimentos (como las de segunda generación) o bien que tampoco compitan por espacio (como por ejemplo la biomasa proveniente de algas y otras vegetaciones acuáticas) permitiría resolver las potenciales externalidades negativas de la bioeconomía sobre el ambiente (Escobar & Laibach, 2021). En estos casos, el procesamiento de esa biomasa no está basado en tecnologías maduras, como puede ocurrir con las biomásas de primera generación, y genera el desafío de integración entre el *know-how* de las industrias químicas con conocimientos biotecnológicos (Mac Clay & Sellare, 2025). Hoy se observan diversos ejemplos de este tipo de alianzas, como los desarrollos conjuntos de empresas como Poet y Royal DSM en Estados Unidos, para la producción de biocombustible a partir de residuos celulósicos, o la asociación entre Corbion y la empresa China Bluepha para producción de bioplásticos.

III. DESAFÍOS PARA CREAR CADENAS DE VALOR EN LA BIOECONOMÍA

La construcción de una bioeconomía sostenible es una tarea compleja que implica grandes transformaciones culturales, políticas y tecnológicas, las cuales

requieren el involucramiento del sector privado, de las organizaciones de los productores y del Estado en sus diferentes niveles escalares. De no lograr este involucramiento, la bioeconomía corre el riesgo de diluirse entre promesas no concretadas en la práctica (Eversberg et al., 2023; Lühhmann & Vogelpohl, 2023). Existen hoy marcados desafíos a nivel productivo y empresarial que deben ser resueltos a fin de transitar desde el modelo de economía fósil al modelo de una bioeconomía sustentable.

Un primer desafío está vinculado a la madurez tecnológica y la estructura de costos. La estructura productiva del paradigma fósil se fundamenta en plataformas maduras que tienen más de dos siglos de recorrido, lo cual se traduce en menores costos operativos y riesgos tecnológicos. Por el contrario, las tecnologías limpias que apuntan a la descarbonización y están basadas en recursos naturales, se enfrentan a costos que no están claramente calibrados, mayores riesgos de fracaso en etapas tempranas del desarrollo y a períodos de recupero de la inversión más largos e inciertos (Mazzucato, 2022). En muchos casos también es necesario construir de cero las cadenas de valor, desarrollando proveedores o mecanismos institucionales para coordinar transacciones, lo cual agrega niveles de complejidad. En este sentido son claves las políticas públicas que puedan generar el sistema de incentivos en favor de tecnologías limpias, mitigando así estas desventajas en el punto de partida (Mazzucato, 2016).

Otro de los desafíos para empresas que trabajan en trayectorias de producción con base en recursos biológicos es la propia gestión de la biomasa. Por un lado, garantizar el abastecimiento continuo es necesario para el funcionamiento de las biorrefinerías. En biomásas de primera generación, que presentan características de commodities, esto puede hacerse de una forma más sencilla a través de mecanismos de mercado, tal como sucede con la agricultura en la actualidad. No obstante, en proyectos que requieren un tipo de biomasa con mayor especificidad (como cultivos energéticos, por ejemplo), esto necesariamente debe incluir contratos para asegurar un flujo continuo, a la vez que otorga a los productores agropecuarios los incentivos necesarios para adoptar esos tipos de cultivos en sus rotaciones (Bellemare, 2018; Poku et al., 2018). Administrar biomasa de elevado volumen y bajo valor también crea desafíos logísticos de magnitud: sin una buena optimización de estos procesos, el impacto de los costos puede minar la rentabilidad del negocio.

Para las empresas que trabajan en trayectorias intensivas en investigación y desarrollo, los desafíos principales radican en la gestión del proceso de innovación. En procesos tecnológicos complejos que combinan digitalización, inteligencia artificial y biotecnología, ninguna empresa puede desarrollar *in-house* la totalidad

de las capacidades necesarias (Mac Clay et al., 2024). Esto obliga a las empresas a administrar procesos de innovación abierta y colaboración con institutos de investigación y otras empresas (Laibach & Bröring, 2022; Müller & Campos, 2021), lo cual es más simple en países con altos niveles de desarrollo científico y tecnológico, pero no en el caso de países con menores niveles de desarrollo. A la vez, parte de esos procesos tienden a llevar mucho tiempo y en ciertos casos enfrentan procesos regulatorios y comerciales complejos e inciertos (McElroy, 2004) y numerosos desafíos para protección y gestión de la propiedad intelectual (Krauss et al., 2021). Los casos relacionados a tecnología de semillas y *breeding* son un ejemplo de ello.

Otro de los grandes desafíos para los productos de la bioeconomía tiene que ver con los hábitos y la cultura de los usuarios y consumidores. Así, la aceptación y la adopción de productos y tecnologías es un aspecto sensible para las empresas que incursionan en actividades bioeconómicas, especialmente aquellas relacionadas con la venta de productos directamente al consumidor. En el caso de los productos alimenticios, existe evidencia de bajo conocimiento y resistencia del consumidor a los nuevos alimentos editados genéticamente (Baum et al., 2023), los sustitutos cárnicos de laboratorio y *plant-based* (Stephens et al., 2018) y las proteínas basadas en insectos (van Huis & Rumpold, 2023), entre otros. Algo similar sucede en el campo de la salud humana, donde existen todavía numerosos interrogantes y debates éticos en relación a la edición génica (Watanabe et al., 2020). Pensando también en las tecnologías orientadas al productor agropecuario, tales como la nueva generación de *traits* basados en edición génica o los productos para bioestimulación o biocontrol, también existen tasas de adopción aún bajas, principalmente fundadas en el escaso conocimiento de estas soluciones y la no percepción de beneficios concretos en términos de flujo financiero (Abbey et al., 2024; Constantine et al., 2020; Mulugeta et al., 2024).

Finalmente, otro gran desafío tiene que ver con el desarrollo de capital humano, habilidades y capacidades específicas para la bioeconomía. Los nuevos emprendimientos relacionados al procesamiento de biomasa, la gestión de biorrefinerías y la intensificación de la biotecnología demandan personal formado que pueda adaptarse y agregar valor a los nuevos procesos productivos (Lopes de Sousa Jabbour et al., 2019; Thomchick et al., 2024). Esto implica a su vez la necesidad del diseño de programas específicos y el desarrollo de trayectorias de formación en ciencia y tecnología (European Commission et al., 2022; Hakovirta & Lucia, 2019), lo cual no siempre es sencillo en países de menor desarrollo relativo.

REFLEXIONES FINALES

El cambio en el paradigma productivo, desde una producción cimentada en la matriz de economía fósil a un modelo de bioeconomía sustentable, es imperioso frente a los masivos desafíos globales. Los caminos para lograr esta transición están planteados, y ya existe una vasta experiencia internacional sobre su efectividad. Sin embargo, esta transición no es sencilla, existen numerosos desafíos a enfrentar, tanto por los gobiernos, los productores agropecuarios, las asociaciones de productores, los institutos de investigación y el sector privado, incluyendo a empresas consolidadas y de trayectoria como también a emprendedores y *startups*.

Más allá de los desafíos planteados en este trabajo, existen numerosos interrogantes hacia el futuro que deben ser resueltos, pues determinan las posibilidades reales de una transición exitosa hacia una bioeconomía sustentable.

Un primer interrogante tiene que ver con la construcción hacia el futuro de un mayor equilibrio entre las tres dimensiones de la sostenibilidad: económica, ambiental y social. Cada una de estas tres dimensiones tiene demandas particulares y no siempre sinérgicas entre sí. Este podría ser uno de los grandes aportes de la bioeconomía, que (potencialmente) podría brindar soluciones en los tres niveles: económicas, al favorecer la creación de nuevas empresas y encadenamientos productivos con elevado valor agregado, sociales, a partir de la creación de iniciativas con fuerte arraigo local que generen oportunidades por fuera de la centralidad de las grandes urbes, y ambientales, a partir del aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y la biodiversidad, en las diferentes trayectorias que ya fueran enumeradas en este artículo.

Otro interrogante clave se vincula a los aspectos tecnológicos. En un futuro inmediato, interesa entender qué tipo de tecnologías deben priorizarse, y cómo se garantizará que esas tecnologías puedan ser aplicadas también a baja escala, favoreciendo a productores familiares o de menor tamaño productivo. Es necesario que las tecnologías no dejen afuera del sistema a los productores más chicos, favoreciendo de este modo la dimensión social de la sostenibilidad. Este interrogante es clave para que la bioeconomía resulte una transición inclusiva, evitando generar una dinámica de concentración de recursos debido al tipo y complejidad de las tecnologías utilizadas.

Un tercer interrogante se vincula a la gestión de la economía política para la transición de salida del paradigma fósil y de entrada en la bioeconomía. Como fue mencionado, entre los desafíos para la construcción de cadenas de valor

bioeconómicas, las tecnologías vinculadas a la economía fósil se encuentran en una etapa de madurez que las hace más competitivas en costos frente a muchas tecnologías de base biológica. En la misma línea, existen hoy cadenas de valor con firmas líderes que tienen control sobre los procesos de gobernanza de la cadena, y pueden establecer estándares tecnológicos, institucionales y comerciales, lo cual también opera como un potencial impedimento. En este sentido, el establecimiento de incentivos y regulaciones claras, tanto a nivel gubernamental como a nivel privado, es fundamental para evitar la inercia y romper con los llamados *path dependencies*.

Aún frente a estos interrogantes respecto al futuro de la transición, es claro que la bioeconomía ha emergido globalmente como un concepto atractivo desde la academia, los negocios y la política pública, con promesas concretas en cuanto a la potencialidad para una transición hacia un paradigma productivo que respete los límites planetarios y favorezca la inclusión social. El materializar la promesa de una bioeconomía sustentable no es automático, y dependerá de un conjunto de regulaciones, incentivos y demandas que marquen la agenda a nivel global.

REFERENCIAS

- Abbey, M., Smith, A. G., Yue, C., Marson, C., Lai, Y., & Stowers, C. (2024). Measuring specialty crop grower willingness to pay for genetic modification and genetic editing. *Agribusiness*, *n/a(n/a)*. <https://doi.org/10.1002/agr.21911>
- Adesemoye, T. (2017). Introduction to Biological Products for Crop Production and Protection. *University of Nebraska Lincoln Extension*.
- Bahrs, E., & Angenendt, E. (2019). Status quo and perspectives of biogas production for energy and material utilization. *GCB Bioenergy*, *11*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12548>
- Baum, C. M., Kamrath, C., Bröring, S., & De Steur, H. (2023). Show me the benefits! Determinants of behavioral intentions towards CRISPR in the United States. *Food Quality and Preference*, *107*, 104842. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.104842>
- Bellemare, M. F. (2018). Contract farming: Opportunity cost and trade-offs. *Agricultural Economics*, *49*(3), 279-288. <https://doi.org/10.1111/agec.12415>
- Boehlje, M., & Bröring, S. (2011). The Increasing Multifunctionality of Agricultural Raw Materials: Three Dilemmas for Innovation and Adoption. *International Food and Agribusiness Management Review*, *14*(2), Article 2.

- Bröring, S., Laibach, N., & Wustmans, M. (2020). Innovation types in the bioeconomy. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121939. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121939>
- Bugge, M. M., Hansen, T., & Klitkou, A. (2016). What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature. *Sustainability*, 8(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/su8070691>
- Canales, N., & Gómez Gonzáles, J. (2020). *Diálogo de política sobre bioeconomía para el desarrollo sostenible en Colombia*. Stockholm Environment Institute.
- Cerca, M., Sosa, A., Gusciute, E., & Murphy, F. (2022). Strategic planning of bio-based supply chains: Unlocking bottlenecks and incorporating social sustainability into biorefinery systems. *Sustainable Production and Consumption*, 34, 219-232. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.09.013>
- Constantine, K. L., Kansime, M. K., Mugambi, I., Nunda, W., Chacha, D., Rware, H., Makale, F., Mulema, J., Lamontagne-Godwin, J., Williams, F., Edgington, S., & Day, R. (2020). Why don't smallholder farmers in Kenya use more biopesticides? *Pest Management Science*, 76(11), 3615-3625. <https://doi.org/10.1002/ps.5896>
- Curtis, T. P., & Sloan, W. T. (2005). Exploring Microbial Diversity—A Vast Below. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.1118176>
- da Silva Medina, G., Rotondo, R., & Rodríguez, G. R. (2023). Agricultural Bio-Inputs as an Innovative Area of Opportunity for Agro-Industrial Growth in Developing Countries: Lessons from Argentina. *World*, 4(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/world4040045>
- Deciancio, M., & Mac Clay, P. (2023). *The Bioeconomy in Argentina: Lessons for its development and sustainability*. (43; ZEF Policy Brief, p. 5). ZEF. https://www.zef.de/fileadmin/user_upload/Policy_Brief_43.pdf
- Desmarchelier, C. (2015). Plantas Medicinales Autóctonas de la Argentina—Bases Científicas para su Aplicación en Atención Primaria de la Salud.
- Dietz, T., Börner, J., Förster, J., & von Braun, J. (2018). Governance of the Bioeconomy: A Global Comparative Study of National Bioeconomy Strategies. *Sustainability*, 10(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/su10093190>
- Dürr, J., & Sili, M. (2022). New or Traditional Approaches in Argentina's Bioeconomy? Biomass and Biotechnology Use, Local Embeddedness, and Sustainability Outcomes of Bioeconomic Ventures. *Sustainability*, 14(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/su142114491>
- Dürr, J., Sili, M., Mac Clay, P., & Sellare, J. (2024). Bioeconomic innovations breeding more sustainable innovations: A value chain perspective from

- Argentina. *Business Strategy and the Environment*, 1-19. <https://doi.org/10.1002/bse.3845>
- Ellen MacArthur Foundation. (2021). The Business Opportunity of a Circular Economy. In L. Liu & S. Ramakrishna (Eds.), *An Introduction to Circular Economy* (pp. 397-417). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8510-4_20
- Escobar, N., Haddad, S., Börner, J., & Britz, W. (2018). Land use mediated GHG emissions and spillovers from increased consumption of bioplastics. *Environmental Research Letters*, 13(12), Article 12. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaefb>
- Escobar, N., & Laibach, N. (2021). Sustainability check for bio-based technologies: A review of process-based and life cycle approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110213. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110213>
- European Commission, Deloitte, Empirica, & Fondazione Giacomo Brodolini. (2022). *Promoting education, training & skills in the bioeconomy: Final report*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/367>
- Eversberg, D., Holz, J., & Pungas, L. (2023). The bioeconomy and its untenable growth promises: Reality checks from research. *Sustainability Science*, 18(2), 569-582. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01237-5>
- Fiocco, D., Ganesan, V., Garcia de la Serrana Lozano, M., & Sharifi, H. (2023). *Agtech: Breaking down the farmer adoption dilemma*. McKingsey & Company.
- Gardossi, L., Philp, J., Fava, F., Winickoff, D., D'Aprile, L., Dell'Anno, B., Marvik, O. J., & Lenzi, A. (2023). Bioeconomy national strategies in the G20 and OECD countries: Sharing experiences and comparing existing policies. *EFB Bioeconomy Journal*, 3, 100053. <https://doi.org/10.1016/j.bioeco.2023.100053>
- German Bioeconomy Council. (2018). *Global Bioeconomy Summit 2018 – Conference Report* (p. 108). Office of the Bioeconomy Council. <http://gbs2018.com/home/>
- Good Food Institute. (2022). 2021 State of the Industry Report—Cultivated meat and seafood.
- Gould, H., Kelleher, L., & O'Neill, E. (2023). Trends and policy in bioeconomy literature: A bibliometric review. *EFB Bioeconomy Journal*, 3, 100047. <https://doi.org/10.1016/j.bioeco.2023.100047>
- Hakovirta, M., & Lucia, L. (2019). Informal STEM education will accelerate the bioeconomy. *Nature Biotechnology*, 37(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/nbt.4331>

- Hankamer, B., Pregel, L., O’Kane, S., Hussey, K., & Hine, D. (2023). Delivering impactful solutions for the bioeconomy. *Trends in Plant Science*, 28(5), 583-596. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2023.02.007>
- Hodgson, A., Alper, J., & Maxon, M. (2022). *The U.S. Bioeconomy: Charting a Course for a Resilient and Competitive Future*. Schmidt Futures. <https://doi.org/10.55879/d2hrs7zwc>
- Hug, L. A., Baker, B. J., Anantharaman, K., Brown, C. T., Probst, A. J., Castelle, C. J., Butterfield, C. N., HERNSDORF, A. W., Amano, Y., Ise, K., Suzuki, Y., Dudek, N., Relman, D. A., Finstad, K. M., Amundson, R., Thomas, B. C., & Banfield, J. F. (2016). A new view of the tree of life. *Nature Microbiology*, 1(5), 1-6. <https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2016.48>
- Klerkx, L., & Rose, D. (2020). Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? *Global Food Security*, 24. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>
- Klerkx, L., & Villalobos, P. (2024). Are AgriFoodTech start-ups the new drivers of food systems transformation? An overview of the state of the art and a research agenda. *Global Food Security*, 40, 100726. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100726>
- Krauss, J., Breitenbach-Koller, L., & Kuttenkeuler, D. (2021). Intellectual property rights and their role in the start-up bioeconomy – a success story? *EFB Bioeconomy Journal*, 1, 100002. <https://doi.org/10.1016/j.bioeco.2021.100002>
- Kung, S. H., Lund, S., Murarka, A., McPhee, D., & Paddon, C. J. (2018). Approaches and Recent Developments for the Commercial Production of Semi-synthetic Artemisinin. *Frontiers in Plant Science*, 9, 87. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00087>
- Laibach, N., & Bröring, S. (2022). The Emergence of Genome Editing—Innovation Network Dynamics of Academic Publications, Patents, and Business Activities. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fbioe.2022.868736>
- Lamb, W. F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J. G. J., Wiedenhofer, D., Mattioli, G., Khourdajie, A. A., House, J., Pachauri, S., Figueroa, M., Saheb, Y., Slade, R., Hubacek, K., Sun, L., Ribeiro, S. K., Khennas, S., Can, S. de la R. du, ... Minx, J. (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environmental Research Letters*, 16(7), 073005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abee4e>
- Leclère, D., Obersteiner, M., Barrett, M., Butchart, S. H. M., Chaudhary, A., De Palma, A., DeClerck, F. A. J., Di Marco, M., Doelman, J. C., Dürauer, M.,

- Freeman, R., Harfoot, M., Hasegawa, T., Hellweg, S., Hilbers, J. P., Hill, S. L. L., Humpenöder, F., Jennings, N., Krisztin, T., ... Young, L. (2020). Bending the curve of terrestrial biodiversity needs an integrated strategy. *Nature*, 1-6. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2705-y>
- Levidow, L. (2015). European transitions towards a corporate-environmental food regime: Agroecological incorporation or contestation? *Journal of Rural Studies*, 40, 76-89. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.06.001>
- Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Rojas Luiz, J. V., Rojas Luiz, O., Jabbour, C. J. C., Ndubisi, N. O., Caldeira de Oliveira, J. H., & Junior, F. H. (2019). Circular economy business models and operations management. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1525-1539. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.349>
- Lühmann, M., & Vogelpohl, T. (2023). The bioeconomy in Germany: A failing political project? *Ecological Economics*, 207, 107783. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107783>
- Lutz, S., Bodenhausen, N., Hess, J., Valzano-Held, A., Waelchli, J., Deslandes-Héroid, G., Schlaeppli, K., & van der Heijden, M. G. A. (2023). Soil microbiome indicators can predict crop growth response to large-scale inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature Microbiology*, 8(12), Article 12. <https://doi.org/10.1038/s41564-023-01520-w>
- Mac Clay, P. (2024). Essays on the nexus between technological change, policies, and value chain governance for a transition towards a low-carbon economy [Thesis, Universitäts- und Landesbibliothek Bonn]. <https://doi.org/10.48565/bonndoc-314>
- Mac Clay, P., Feeney, R., & Sellare, J. (2024). Technology-driven transformations in agri-food global value chains: The role of incumbent firms from a corporate venture capital perspective. *Food Policy*, 127, 102684. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2024.102684>
- Mac Clay, P., & Sellare, J. (2025). The Nexus Between Innovation, Value Chains, and Social Sustainability in the Context of a Bioeconomy Upgrading. *Business Strategy & Development*, 8(1), e70087. <https://doi.org/10.1002/bsd2.70087>
- Maxon, M. (2023). Racing to Be First to Be Second. *Issues in Science and Technology*, 29(3), 64-66. <https://doi.org/10.58875/VDTR1008>
- Mazzucato, M. (2016). From market fixing to market-creating: A new framework for innovation policy. *Industry and Innovation*, 23(2), Article 2. <https://doi.org/10.1080/13662716.2016.1146124>
- Mazzucato, M. (2022). Financing the Green New Deal. *Nature Sustainability*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00828-x>

- McElroy, D. (2004). Valuing the product development cycle in agricultural biotechnology—What’s in a name? *Nature Biotechnology*, 22(7), Article 7. <https://doi.org/10.1038/nbt0704-817>
- Miranda, J., Börner, J., Bruckner, M., Lutz, C., Reuschel, S., Stöver, B., Többen, J., & Wilts, R. (2023). *Towards a bioeconomy within planetary boundaries* (45; ZEF Policy Brief). Center for Development Research (ZEF). https://www.zef.de/fileadmin/user_upload/ZEF_Policy_Brief_No_45.pdf
- Müller, M. L., & Campos, H. (2021). Open Innovation and Value Creation in Crop Genetics. In H. Campos (Ed.), *The Innovation Revolution in Agriculture: A Roadmap to Value Creation* (pp. 71-93). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50991-0_3
- Mulugeta, T., Ilomo, M., Mueke, A., Onyango, C., Matsaunyane, L., Kritzing, Q., & Alexandersson, E. (2024). Smallholder farmers’ knowledge, attitudes, and practices (KAP) regarding agricultural inputs with a focus on agricultural biologicals. *Heliyon*, 10(4), e26719. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26719>
- Muscat, A., De Olde, E. M., Ripoll-Bosch, R., Van Zanten, H. H. E., Metze, T. A. P., Termeer, C. J. A. M., Van Ittersum, M. K., & De Boer, I. J. M. (2021). Principles, drivers and opportunities of a circular bioeconomy. *Nature Food*, 2(8), 561–566. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00340-7>
- Niyonsaba, H. h., Höhler, J., van der Fels-Klerx, H. j., Slijper, T., Alleweldt, F., Kara, S., Zanolli, R., Costa, A. i. a., Peters, M., & Meuwissen, M. p. m. (2023). Barriers, risks and risk management strategies in European insect supply chains. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1-16. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0100>
- Nobre, I., & Nobre, C. (2020). Proyecto Amazonia 4.0. *Futuribles*, 434(1), 95-108.
- Nong, D., Escobar, N., Britz, W., & Börner, J. (2020). Long-term impacts of bio-based innovation in the chemical sector: A dynamic global perspective. *Journal of Cleaner Production*, 272, 122738. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122738>
- O’Neill, D. W., Fanning, A. L., Lamb, W. F., & Steinberger, J. K. (2018). A good life for all within planetary boundaries. *Nature Sustainability*, 1(2), 88-95. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0021-4>
- Poku, A.-G., Birner, R., & Gupta, S. (2018). Making Contract Farming Arrangements Work in Africa’s Bioeconomy: Evidence from Cassava Outgrower Schemes in Ghana. *Sustainability*, 10(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/su10051604>
- Priefer, C., Jörissen, J., & Frör, O. (2017). Pathways to Shape the Bioeconomy. *Resources*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/resources6010010>

- Priefer, C., & Meyer, R. (2019). One Concept, Many Opinions: How Scientists in Germany Think About the Concept of Bioeconomy. *Sustainability*, *11*(15), Article 15. <https://doi.org/10.3390/su11154253>
- Radwan, T. M., Blackburn, G. A., Whyatt, J. D., & Atkinson, P. M. (2021). Global land cover trajectories and transitions. *Scientific Reports*, *11*(1), 12814. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92256-2>
- Ritchie, H., Rodés-Guirao, L., Mathieu, E., Gerber, M., Ortiz-Ospina, E., Hasell, J., & Roser, M. (2023). Population Growth. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/population-growth>
- Rodríguez, A., Mondaini, A., & Hitschfeld, M. (2017). *Bioeconomía en América Latina y el Caribe: Contexto global y regional y perspectivas*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/42427-bioeconomia-america-latina-caribe-contexto-global-regional-perspectivas>
- Salvador, R., Puglieri, F. N., Halog, A., Andrade, F. G. de, Piekarski, C. M., & De Francisco, A. C. (2021). Key aspects for designing business models for a circular bioeconomy. *Journal of Cleaner Production*, *278*, 124341. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124341>
- Sili, M., & Dürr, J. (2022). Bioeconomic Entrepreneurship and Key Factors of Development: Lessons from Argentina. *Sustainability*, *14*(4), 2447. <https://doi.org/10.3390/su14042447>
- Stephens, N., Di Silvio, L., Dunsford, I., Ellis, M., Glencross, A., & Sexton, A. (2018). Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture. *Trends in Food Science & Technology*, *78*, 155-166. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.010>
- Suzihaque, M. U. H., Alwi, H., Kalthum Ibrahim, U., Abdullah, S., & Haron, N. (2022). Biodiesel production from waste cooking oil: A brief review. *Materials Today: Proceedings*, *63*, S490-S495. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.527>
- Thomchick, E., Jacobson, M., & Ruamsook, K. (2024). Bioeconomy Bright Spots, Challenges, and Key Factors Going Forward: Perceptions of Bioeconomy Stakeholders. *EFB Bioeconomy Journal*, 100068. <https://doi.org/10.1016/j.bioeco.2024.100068>
- Thursby, E., & Juge, N. (2017). Introduction to the human gut microbiota. *Biochemical Journal*, *474*(11), 1823-1836. <https://doi.org/10.1042/BCJ20160510>
- Trigo, E. J. (2016). *La bioeconomía como opción estratégica para la Argentina*. <http://www.cursobioeconomia.mincyt.gov.ar/wp-content/uploads/2016/11/Eduardo-Trigo-Simposio-Bioeconom%C3%ADa-RCPN-Cba.-2016.pdf>

- van Huis, A., & Rumpold, B. (2023). Strategies to convince consumers to eat insects? A review. *Food Quality and Preference*, 110, 104927. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.104927>
- Viaggi, D. (2022). Agricultural waste management and valorisation in the context of the circular Bioeconomy: Exploring the potential of biomass value webs. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 100356. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2022.100356>
- Viaggi, D., & Zavalloni, M. (2021). Bioeconomy and Circular Economy: Implications for Economic Evaluation in the Post-COVID Era. *Circular Economy and Sustainability*, 1(4), 1257-1269. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00113-1>
- Vivien, F.-D., Nieddu, M., Befort, N., Debref, R., & Giampietro, M. (2019). The Hijacking of the Bioeconomy. *Ecological Economics*, 159, 189-197. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.01.027>
- von Braun, J. (2018). Bioeconomy – The global trend and its implications for sustainability and food security. *Global Food Security*, 19, 81-83. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.10.003>
- Watanabe, D., Saito, Y., Tsuda, M., & Ohsawa, R. (2020). Increased awareness and decreased acceptance of genome-editing technology: The impact of the Chinese twin babies. *PLOS ONE*, 15(9), e0238128. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238128>
- Winkler, K., Fuchs, R., Rounsevell, M., & Herold, M. (2021). Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature Communications*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>

© 2025 por los autores; licencia no exclusiva otorgada a la revista Estudios económicos. Este artículo es de acceso abierto y distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia Atribución-No Comercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0) de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>