



FACULTAD DE
CIENCIAS ECONÓMICAS
Y DE ADMINISTRACIÓN

DEPARTAMENTO DE
ECONOMÍA



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Identificación de enfoques dentro de la bioeconomía y su relación con el territorio. Un análisis bibliométrico.

Paula Barreto Nuñez

Tesis de Maestría presentada al Programa de Maestría en Economía de la Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de la República, como parte de los requisitos para la obtención del título de Magíster en Economía.

Director de tesis:

Profesor Sebastián Goinheix

Montevideo – Uruguay

Agosto de 2024

Página de Aprobación

El tribunal docente integrado por los abajo firmantes aprueba el Trabajo Final:

Título

.....
.....
.....

Autor/es

.....

Tutor/Coordinador

.....

Posgrado

.....

Puntaje

.....

Tribunal

Profesor.....(nombre y firma).

Profesor.....(nombre y firma).

Profesor.....(nombre y firma).

FECHA.....

Resumen

Este proyecto de investigación tiene como objetivo identificar los enfoques temáticos presentes en los artículos relacionados con la bioeconomía y analizar su asociación con la región geográfica. Los enfoques temáticos serán identificados mediante la técnica de detección de comunidades (un tipo de técnica de clustering para datos de redes) aplicada a las palabras clave de los documentos analizados. Los datos se han recabado de la base de datos Scopus, abarcando el período de 2003 a 2022. Para caracterizar estos enfoques, se seleccionarán los diez documentos con mayor número de citas en cada uno. A partir de la sistematización de estos documentos, se profundizará en los conceptos clave y se identificarán los enfoques a partir de las temáticas de estudio. Finalmente, se realizará un análisis para explorar si la ubicación geográfica de los autores está asociada a los enfoques de sus investigaciones, utilizando los datos de afiliación de los autores.

Palabras Claves:

Bioeconomía; Enfoques; Clustering; Región

Índice

1. Introducción	5
2. Objetivos, pregunta de investigación e hipótesis	8
3. Justificación e importancia	9
4. Marco teórico	11
5. Antecedentes	13
6. Metodología	19
6.1 Datos	22
7. Resultados	24
7.1 Exploración de la producción científica sobre bioeconomía	24
7.2 Enfoques de la bioeconomía	30
7.3 Relación entre enfoques y regiones.....	45
8. Conclusiones	50
9. Referencias.....	52
10. Anexo	63

1. Introducción

En las últimas décadas, los problemas medioambientales se han agudizado, dejando en evidencia que los modelos de desarrollo actuales no son sostenibles en el largo plazo. El incremento de la población mundial, el aumento de los niveles de consumo y riqueza observados en las últimas décadas, la actividad humana intensiva y los modelos de desarrollo convencionales basados en combustibles fósiles han ocasionado graves impactos en el medio ambiente, tales como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la contaminación del aire, el agua y el suelo (Rockström et al., 2009; Stern, 2007). Las consecuencias de esta crisis ya se están sintiendo, con desastres naturales más frecuentes y severos, extinciones masivas de especies de plantas y animales y una disminución de los resultados de salud para los humanos (IPCC, 2018).

La necesidad de una acción urgente para abordar estos problemas ha sido señalada por diversas instituciones como las Naciones Unidas (véase, por ejemplo, el Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2022¹), pero el progreso ha sido lento y la escala del desafío abrumadora. Se plantea una tensión decisiva para el futuro de la humanidad, entre las formas predominantes del crecimiento económico, la desigualdad y los requisitos de la preservación del ambiente y de los impactos del cambio climático. Esa tensión incluye temas de pobreza, seguridad alimentaria, salud, reestructuración industrial o seguridad energética, entre otros (Naciones Unidas, 2019; Oxfam International, 2020). La crisis ambiental requiere una respuesta global coordinada, con objetivos ambiciosos y acciones audaces para transformar nuestras sociedades y economías hacia la sostenibilidad (Naciones Unidas, 2015; Steffen et al., 2015; Sachs et al., 2018; Banco Mundial, 2020).

El concepto de “sostenibilidad” (o sustentabilidad)² pretende aproximarse a la resolución de estos problemas³. En efecto, la “sostenibilidad” y el “desarrollo sostenible” han sido una clave en la agenda política y de investigación global en las últimas décadas (Swilling 2019; Garud y

¹Naciones Unidas. (2022). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2022. Naciones Unidas. https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2022_Spanish.pdf

²En este documento los términos “sostenibilidad” y “sustentabilidad” se utilizarán como sinónimos de la traducción de *sustainability* en inglés. Desde nuestro punto de vista, la única diferencia que existe entre desarrollo sostenible y desarrollo sustentable es la traducción al español que se le hizo al término inglés *sustainable development* (Ver en Zarta Ávila (2018) una explicación más detallada para fundamentar esta decisión).

³ Resolución 70/1 aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas el 25 de septiembre de 2015. *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* accesible en: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/93/PDF/N1529193.pdf?OpenElement>

Gehman, 2012; Markard et al., 2012). En esencia, la sostenibilidad se refiere a la capacidad de un sistema o sociedad para satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Esto requiere un equilibrio entre el crecimiento económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente, así como el reconocimiento de la interconexión de estos tres pilares de la sostenibilidad.

La Economía circular, la Economía verde y la Bioeconomía (CE, GE y BE) se están incorporando con fuerza a nivel mundial como estrategias para lograr el desarrollo sostenible (Biancolillo, 2020; Loiseau et al., 2016; D'amato et al., 2017). Algunos autores señalan que el uso responsable de los recursos y la reducción de residuos, al mismo tiempo que promueven el crecimiento económico y la protección del medio ambiente.

Particularmente, en los últimos tiempos se han lanzado planes de estrategias y políticas nacionales, organizacionales y regionales para la implementación de la bioeconomía⁴. Esto se debe, en parte a que la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), en el documento “The bioeconomy to 2030: Policy agenda”⁵ sostiene que la bioeconomía tiene el potencial de asegurar el desarrollo económico de largo plazo y la sostenibilidad ambiental, mediante la aplicación de biotecnología a la producción primaria, la salud y la industria, y que para que este potencial se convierta en realidad hace falta apoyo por parte de los gobiernos, creando marcos normativos innovadores.

La bioeconomía es un concepto reciente, que entrelaza disciplinas y ciencias para abordar aspectos del desarrollo más allá del crecimiento económico. Busca las formas de alinear la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Brundtland, 1987) con las limitaciones del planeta que sustenta la vida. La bioeconomía crea oportunidades para proporcionar un sistema alimentario más sostenible (Trigo et al., 2021) y nuevos productos, procesos y servicios de base biológica que emergen y se desarrollan de forma sostenible (Pyka et al., 2022).

⁴ Europa lanzó en 2012 una estrategia regional: “Innovación para el crecimiento sostenible”. Estados Unidos publicó en 2012 el documento “National Bioeconomy Blueprint”, y Canadá publicó ese mismo año “The Canadian Blueprint beyond Moose and Mountains”. En tanto la CEPAL publicó en 2017 “Bioeconomía en América Latina y el Caribe: Contexto global y regional y perspectivas”.

⁵OECD, 2009. The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda. Organization for Economic Co-operation and Development

La bioeconomía es un concepto muy amplio y controvertido y no existe un modelo bioeconómico que se ajuste a todos los países. Más bien, existen varias formas diferentes de desarrollar bioeconomías según las características individuales, las estructuras productivas y el acceso a los recursos de cada país y el impacto diferente en la sostenibilidad (Deciancio et al., 2022). Pudiendo identificar diferentes interpretaciones o enfoques del término bioeconomía.

Esta diversidad también tiene implicaciones significativas en cuanto al impacto en la sostenibilidad, ya que las decisiones tomadas en el marco del desarrollo de la bioeconomía pueden tener consecuencias ambientales, sociales y económicas muy diferentes según el contexto específico en el que se implementen. Por lo tanto, es crucial considerar estas variaciones y adaptar las políticas y acciones para promover una bioeconomía que no solo sea productiva y rentable, sino también sostenible a largo plazo en todos sus aspectos.

Basado en la importancia que ha cobrado el concepto de bioeconomía en los últimos años, se propone identificar los diferentes enfoques dentro de la literatura científica de la bioeconomía, así como dar cuenta de su relación con el territorio. Entender los diferentes abordajes de la bioeconomía, nos brinda herramientas para analizar los paradigmas claves detrás de ellos, los objetivos de políticas públicas, posibles vías de transición, y la importancia que se le adjudica a la sustentabilidad ambiental (Piplani et al., 2021). Es importante abordar la bioeconomía desde múltiples perspectivas, dado que nos permite no solo tener una visión integral de cómo se implementa en diversas regiones y contextos, sino también comprender mejor su impacto en las políticas públicas. Esto, a su vez, puede guiar el diseño de estrategias más efectivas y sostenibles, promoviendo un desarrollo que equilibre el crecimiento económico con la conservación del medio ambiente y el bienestar social.

Nos referiremos a los distintos abordajes de la bioeconomía como enfoques. Realizaremos la identificación de enfoques mediante la técnica de detección de comunidades (un tipo de técnica de clustering para datos de redes) aplicada a las palabras clave de los documentos analizados. Para la identificación y análisis de los enfoques, se utilizan datos de las palabras claves de los artículos, como forma de captar las similitudes entre los documentos de los descriptores que los autores (y las revistas) generan para sus trabajos. La agrupación de las investigaciones en clústeres temáticos, permite identificar temas, interrelaciones, y patrones de colaboración (Blondel et al., 2008).

De esta manera, en principio identificaremos enfoques caracterizados por los diferentes temas que abordan las investigaciones. Y luego, mediante una sistematización de los documentos más citados dentro de cada clúster se buscará profundizar en los conceptos y encontrar enfoques a partir de las temáticas de estudio.

Finalmente, realizaremos un ejercicio para analizar si la ubicación geográfica de los autores es un factor asociado a los enfoques de sus investigaciones. Para ello se utilizarán los datos de filiación de los autores⁶.

2. Objetivos, pregunta de investigación e hipótesis

Objetivo general: estudiar los diferentes enfoques o abordajes de la bioeconomía y su posible vínculo con la región geográfica.

Objetivos específicos:

- Identificar los distintos enfoques de la bioeconomía.
- Caracterizar los enfoques previamente identificados.
- Analizar si la ubicación geográfica está relacionada a los enfoques.

Preguntas de investigación:

3. ¿Qué enfoques se identifican dentro de la literatura científica que estudia la bioeconomía?
4. ¿Dichos enfoques están asociados a las distintas regiones en que se producen investigaciones en bioeconomía?

La hipótesis que aborda la primera pregunta de investigación postula que existen diferentes enfoques en la literatura científica sobre bioeconomía, los cuales pueden ser identificados a través de las palabras clave de los artículos. Para comprobar esta hipótesis, se buscará identificar la existencia de distintos enfoques mediante el agrupamiento de palabras clave según su similitud medida como apariciones conjuntas en los mismos documentos. Posteriormente, se interpretará cada uno de los enfoques identificados, con el fin de determinar si existen diferencias sustantivas en términos de contenido entre ellos.

⁶ La afiliación refiere a la organización o institución donde el autor lleva a cabo su investigación principal al momento de publicación del artículo. Por lo tanto, no se puede asumir que la afiliación es equivalente a la nacionalidad del autor, ya que un autor puede estar afiliado a una institución en un país diferente al de su nacionalidad.

La segunda hipótesis de este trabajo es que la región se asocia a los enfoques de la bioeconomía. Basados en una amplia literatura, se parte de la idea que las diferentes formas en que se producen y desarrollan actividades de bioeconomía difieren según las especificidades territoriales. Dichas especificidades pueden estar relacionadas a la especialización económica, el ecosistema emprendedor y de puesta en marcha, el sistema de innovación, la disponibilidad de recursos naturales, las redes de valor de base biológica, los sistemas socio ecológicos, la biodiversidad y los impactos del cambio climático (Siegel et al., 2022; Abramovay et al., 2021; Fritsche et al., 2020).

Dadas estas diferencias, los temas relevantes y el significado que adquieren estas actividades pueden variar según el desarrollo y las preocupaciones que prevalecen en cada contexto nacional. Por ejemplo, la bioeconomía puede ser utilizada por distintos países como estrategia para la generación de empleo, para una mayor diferenciación de la estructura productiva, o para la mitigación del cambio climático, ya sea mediante el uso de energía renovable o a través de la captura de carbono en los bosques.

Por lo tanto, se espera que la investigación que se produce en cada país responda a las necesidades diferenciadas según los contextos regionales. Es así que, la segunda hipótesis, sostiene que las distintas regiones desarrollan enfoques específicos como una forma de reflejar las realidades nacionales y regionales.

3. Justificación e importancia

Ante los problemas medioambientales ya mencionados y el rol que se le ha adjudicado a la bioeconomía en pos de transitar hacia un paradigma más sostenible, resulta de relevancia estudiar la bioeconomía y sus diferentes enfoques o visiones.

El interés en identificar enfoques dentro de la bioeconomía reside en mejorar el entendimiento de esta, sobre todo teniendo en cuenta dichos enfoques, están caracterizados por diferentes objetivos, valores de creación, y visiones de sociedades a alcanzar (Bugge et al., 2016 y Hausknost et al., 2017); y el rol crucial que se le ha asignado en la transición hacia un desarrollo sustentable.

En la literatura académica, existen trabajos que estudian los diferentes abordajes de la bioeconomía, los cuales serán presentados en la sección Antecedentes. Sin embargo, debido a

la novedad del concepto y al aumento significativo de publicaciones en los últimos años, existe una amplia cantidad de literatura que aún no ha sido examinada. Identificar los enfoques nos permitirá determinar si los previamente identificados se mantienen, considerando la posibilidad de que estos se estén integrando o que sus diferencias se hayan profundizado, así como descubrir nuevos posibles enfoques.

El presente trabajo aborda un vacío en el conocimiento al estudiar la relación entre los diferentes enfoques con las regiones geográficas. Entendemos que la consideración de factores locales y regionales resulta fundamental, especialmente debido a las marcadas diferencias en la biodiversidad y los recursos naturales entre diversas áreas geográficas. Estas variaciones sustanciales entre regiones generan una diversidad de desafíos y oportunidades en el ámbito de la bioeconomía.

En particular, al abordar la base biológica de la bioeconomía, se espera encontrar notables discrepancias derivadas de aspectos como la disponibilidad de recursos, las condiciones climáticas específicas de cada región, así como la organización social única de cada localidad (Swilling, 2019). Estos elementos no solo afectan la composición y disponibilidad de recursos biológicos, sino que también influyen en la forma en que se abordan y aprovechan las oportunidades económicas basadas en la biología en diferentes contextos regionales.

Según Gottinger et al., "la bioeconomía depende en gran medida del sector primario, que tiene una fuerte dimensión local o regional." (2020: 18, traducción propia). Esto sugiere que la investigación en bioeconomía suele estar influenciada por las necesidades y características específicas de cada región, lo que significa que se espera que la investigación refleje las necesidades y realidades distintas de cada contexto regional. Por lo tanto, la segunda hipótesis plantea que diferentes regiones desarrollan enfoques específicos para abordar las realidades nacionales y regionales particulares.

En este sentido, es crucial reconocer y adaptarse a estas variaciones para desarrollar estrategias efectivas en el ámbito de la bioeconomía a nivel local y regional. Se anticipa que la literatura científica de cada región manifestará estas diferencias mediante enfoques y perspectivas diferenciadas.

4. Marco Teórico

Este marco teórico tiene como objetivo proporcionar una visión integral de la bioeconomía y su potencial para transformar los sistemas de producción y consumo con enfoque más sostenible.

El concepto de bioeconomía fue planteado inicialmente por Nicholas Georgescu-Roegen (1975), para destacar el origen biológico de los procesos económicos y, a partir de ello, poner de relieve los problemas que le plantea a la humanidad depender de una cantidad limitada de recursos utilizables (por ejemplo, disponibilidad de tierra apta para la agricultura) y que se encuentran distribuidos de manera desigual (Rodríguez et al. 2017). Aunque existen varias definiciones de la bioeconomía, el desarrollo conceptual más actual parte de la Unión Europea. En la tabla 1 se presentan diferentes definiciones de bioeconomía.

Tabla 1. Definiciones de bioeconomía

Autor	Definición
Georgescu-Roegen (1975)	El término bioeconomía tiene el propósito de recordar continuamente el origen biológico del proceso económico y así destacar el problema de la existencia de la humanidad con una limitada cantidad de recursos accesibles, desigualmente ubicados y apropiados.
Unión Europea 2005 (New perspectives in the knowledgebased bio-economy) y 2007 (En Route to the Knowledge-Based BioEconomy) (European Commission 2005; European Commission 2007)	La bioeconomía basada en el conocimiento puede definirse como la transformación del conocimiento de las ciencias de la vida en productos nuevos, sostenibles, ecoeficientes y competitivos.
OECD 2009 (The Bioeconomy to 2030: designing a policy agenda) (Arundel & Sawaya 2009)	La bioeconomía se refiere al conjunto de actividades económicas relacionadas con la invención, desarrollo, producción y uso de productos y procesos biológicos.
Unión Europea 2012 (Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe) (European Commission 2012)	La bioeconomía incluye producción de recursos biológicos renovables y la conversión de estos recursos y flujos de desechos en productos de valor agregado como alimentos, piensos, productos de base biológica y bioenergía. Una economía que utiliza los recursos biológicos de la tierra y del mar, así como los desechos, como insumos para la producción de alimentos y para la producción industrial y energética.

National Bioeconomy Blueprint, UE 2012 (House 2012)	Una economía basada en el uso de la investigación y la innovación en las ciencias biológicas para crear actividad económica y beneficio público.
Consejo alemán para la bioeconomía (2017) (Rodríguez et al. 2017)	El consejo percibe la bioeconomía como la producción basada en el conocimiento y la utilización de recursos, principios y procesos biológicos, para proveer productos y servicios a todos los sectores del comercio y la industria dentro del contexto de un sistema económico adecuado para el futuro.
(IICA 2019)	La bioeconomía es la utilización intensiva de conocimientos en recursos, procesos, tecnologías y principios biológicos para la producción sostenible de bienes y servicios en todos los sectores de la economía.

Fuente: Elaboración propia, conceptualizaciones citadas en Aramendis et al. (2018) e IICA (2019).

En la actualidad no hay un concepto armonizado para la bioeconomía: es un término en constante evolución. Sin embargo, el concepto de sostenibilidad se encuentra presente de una forma u otra en todas las definiciones. Esto es importante dado que la sustentabilidad es fundamental para garantizar que la bioeconomía pueda proporcionar beneficios económicos y sociales a largo plazo sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

En la literatura internacional, el concepto de sustentabilidad ha sido interpretado como “sustentabilidad débil” o “sustentabilidad fuerte”. La sustentabilidad débil se basa en la economía neoclásica, donde el bienestar humano es igual a la realización económica y la utilidad se deriva del consumo de bienes y servicios. Para esta, el bienestar de las generaciones futuras se acomoda asegurando que la producción económica no disminuya en el tiempo (con suficiente capital, se puede sustituir los recursos naturales agotados). El paradigma de la sustentabilidad fuerte asume que el bienestar de las generaciones futuras depende del sustento de la base biofísica de la economía, y de los valores y atributos de instituciones humanas que no son comercializables. Al contrario que la sustentabilidad débil, considera que los recursos naturales no son sustituibles (Biancolillo et al., 2020; Morandín-Ahuerma et al. 2019; Vivien et al., 2019; D'Amato et al., 2017; Neumayer, 2007).

5. Antecedentes

En esta sección, se expondrán los trabajos más relevantes en la identificación y caracterización de los diferentes abordajes de la bioeconomía. Aunque todos estos estudios apuntan a caracterizar las publicaciones sobre bioeconomía, presentan diferencias en términos de alcance, énfasis y las preguntas que se plantean. Por ejemplo, algunos se enfocan exclusivamente en la bioeconomía, mientras que otros incluyen también la economía circular, o se centran solo en regiones específicas como América Latina.

Vivien et al. (2019) analizan mediante una revisión sistemática tres interpretaciones diferentes del término bioeconomía, presentando narrativas que combinan visiones distintas del desarrollo económico futuro. El primer tipo de bioeconomía, consiste en una economía ecológica, que es compatible con los límites de la biosfera. En el ideal de esta visión, se establece un rendimiento máximo sostenible, es decir la cantidad de un recurso biológico que puede ser explotado sin amenazar su capacidad de reproducción. Un segundo tipo de bioeconomía basada en la ciencia e impulsada por la biotecnología industrial. El tercer tipo de bioeconomía está basada en la biomasa, está reemplaza a los combustibles fósiles para producir energía y materiales

Bugge et al. (2016) reconocen tres visiones de la bioeconomía: una visión biotecnológica, cuyo foco está en las implementaciones tecnológicas. Una visión de los biorrecursos, que intenta mejorar la aplicación de las materias primas mediante investigación y desarrollo. Y por último, una visión ecológica, que busca promover cambios en los procesos y sistemas regionales para mejorar el uso de los recursos.

A continuación, se presentarán trabajos que comparten una metodología similar, utilizando redes de coocurrencia de palabras clave para identificar diferentes temáticas de interés y enfoques en la bioeconomía. Estos estudios se destacan porque realizan un análisis similar al de este trabajo, proporcionando una visión más general y narrativa de la bioeconomía.

A partir de las visiones de la bioeconomía encontradas en Bugge et al. (2016), y mediante un análisis bibliométrico sobre las percepciones de las partes interesadas en la bioeconomía, Dieken et al. (2017) encuentran que el enfoque de los trabajos que revisan las percepciones de las partes interesadas en la bioeconomía parecen estar divididas equitativamente entre las visiones de biotecnología y bio recursos (26,9 y 28,7% respectivamente). Encuentran que solo

cuatro artículos reflejan la visión de la biología, y la mayoría de los artículos no identifican una visión claramente prevaleciente.

Biancolillo et al. (2020) revisan la literatura científica sobre bioeconomía forestal para el período 2003–2020 (225 artículos). Encuentran cuatro clusters relativamente separados entre sí, e internamente conectados. El primero considera la bioeconomía forestal circular como un motor para el desarrollo sostenible (las palabras claves más utilizadas: forestal, bioeconomía, sostenibilidad). El segundo la relación entre la producción de bioenergía y la mitigación del cambio climático (cambio climático, bioenergía y comercio). El tercero se enfoca principalmente en biotecnologías para la producción de combustibles (biomasa, bioenergía y economía). Y el último, se enfoca en la cadena bosque-madera relacionada con la extracción de biomasa de madera y los posibles impactos negativos en la conservación de la biodiversidad (madera, biodiversidad, cosecha).

Papadopoulou et al. (2021) realizan un análisis de redes bibliométrico sobre la bioeconomía en la agricultura para el periodo 2010-2020 y arriban a resultados similares. Encuentran cinco clusters con altas co-ocurrencias. Uno de ellos que mira a la bioeconomía en la agricultura como una fuerza central para la sustentabilidad (las palabras claves más utilizadas: agricultura, bioeconomía, sostenibilidad). El segundo cluster relaciona a la biomasa con la producción de bioenergía para mitigar el cambio climático, donde la finalidad de la bioeconomía es reemplazar los recursos no renovables por otros de origen biológico (biomasa, materia prima y biocombustibles). El tercer cluster pone el foco en la biotecnología para producir químicos y biocombustibles (refinerías, fermentación, genética). El cuarto cluster se refiere al progreso de la transición hacia una economía circular (economía circular, plástico, compostar). El último, examina la producción de biogas (biogas, fertilizante, calidad del agua).

D'Amato et al. (2017) analizan la diversidad dentro y entre los conceptos de: Economía Circular, Economía Verde y Bioeconomía mediante una revisión bibliométrica. Basándose en un análisis de las palabras claves y temas, identifican los focos de cada uno de los conceptos acerca de las dimensiones ambientales y sociales de la sustentabilidad. Encuentran que en lo que respecta a la sostenibilidad ambiental, la economía verde es un concepto que incluye elementos de la economía circular y la bioeconomía (por ejemplo, ecoeficiencia, energías renovables). La economía circular y la bioeconomía se centran en los recursos, mientras que la economía verde reconoce el papel fundamental de todos los procesos ecológicos.

Olivo y Lakner (2023) mediante un análisis bibliométrico analizan los sectores de la bioeconomía en los países Latinoamericanos y Caribe. Encuentran que el sector más desarrollado es el de los biocombustibles. Subrayan que a pesar de la gran diversidad de recursos naturales renovables existentes en la región, no encontraron una cantidad significativa de publicaciones en otros sectores de la bioeconomía que estén basados en la biomasa. Al realizar un análisis de co-ocurrencia de palabras claves, identificaron ocho clusters que refieren a: agricultura, cambio climático, diversidad, biorremediación, bioenergía, biocombustible, eficiencia energética y bioeconomía. Puntualizan que los primeros siete están relacionados con las preocupaciones de la región por la seguridad alimentaria y el desarrollo sustentable de la bioenergía, mientras que la última está relacionada con el enfoque holístico de la investigación. Adicionalmente, encuentran que los países con mayor producción científica son Brasil, Argentina, México y Chile.

Por último, se expondrán diferentes posturas de autores que plantean rutas, senderos, o dinámicas para realizar la transición hacia la bioeconomía.

Trigo et al. (2013) listan seis formas o caminos en que países o las instituciones pueden implementar la bioeconomía. *Biodiversidad*, el desarrollo de nuevos productos mediante innovaciones. La *eco intensificación*, o intensificación sostenible, que refiere a prácticas agronómicas dirigidas a mejorar el desempeño ambiental de las actividades agrícolas sin sacrificar los niveles existentes de producción/productividad. El camino de los *bio productos* y *biorrefinerías*, los procesos destinados a la sustitución de insumos industriales de combustibles fósiles. El sendero de las *biotecnologías*. El de las *cadena de valor*, aumento en la cantidad o valor de la producción o en los mercados como resultado del aprovechamiento de la biomasa residual y del desarrollo de vínculos de mercado para productos innovadores de base biológica. Y por último el sendero de los *servicios ecosistémicos*, que consiste en aprovechar los beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas sean económicos o culturales.

Dietz et al. (2018) analizaron 41 estados en todo el mundo que actualmente persiguen estrategias políticas explícitas para expandir y promover sus bioeconomías. Identificaron cuatro senderos de transición hacia la bioeconomía:

- Sustitución de combustibles fósiles con materias primas de base biológica.

- Aumento de la productividad en sectores primarios de base biológica.
- Aumento en la eficiencia de utilización de la biomasa.
- Creación y adición de valor mediante la aplicación de principios y procesos biológicos separados de la producción de biomasa a gran escala.

Por su parte, Priefer et al. (2017), hablan de dos caminos o senderos diferentes para dar forma a la bioeconomía. Un enfoque basado en la tecnología se basa en los avances en las ciencias de la vida y el apoyo de la biotecnología como tecnología habilitadora en varios sectores. Una asociación sólida entre las políticas, la ciencia y la industria, la promoción de la cooperación internacional, el establecimiento de cadenas de valor mundiales y la concesión de patentes deberían mejorar la competitividad internacional y contribuir al crecimiento económico y el empleo.

Otro enfoque socio ecológico las preocupaciones de sostenibilidad tienen alta prioridad. Esto implica un cambio radical lejos de la agricultura intensiva convencional y una transición a una agricultura específica del sitio, en la que los conocimientos de la investigación científica y el conocimiento tácito de los agricultores locales juegan un papel igualmente importante.

En resumen, la bioeconomía ha sido objeto de estudio desde diversas perspectivas, abordándose principalmente a través de revisiones literarias y análisis bibliométricos. A pesar de las diferencias en los objetivos de las distintas revisiones, los resultados son comparables en cuanto a los enfoques que se pueden agrupar, permitiendo identificar patrones comunes y tendencias que enriquecen la comprensión del campo y ofrecen una visión integrada y coherente de la bioeconomía.

En la Tabla 2 se presenta un resumen de los antecedentes, donde se identifican grupos dentro de la bioeconomía clasificados por los autores como senderos, visiones, enfoques, tipos y clústeres temáticos. Aunque los resultados pueden variar, en general, se observa que existen grupos que se centran en la tecnología, los biorrecursos y la ecología.

Las metodologías utilizadas en los estudios revisados son principalmente revisiones literarias y análisis bibliométricos. Las revisiones literarias proporcionan una síntesis narrativa y cualitativa, mientras que los análisis bibliométricos ofrecen una visión cuantitativa basada en datos bibliográficos.

Para facilitar la presentación y el análisis, se han agrupado los diferentes enfoques en: enfoques tecnológicos o de biotecnología, bioeconomía/productos y recursos biológicos, biodiversidad y bioecología, energía y otros.

Se observa que todos los trabajos revisados incluyen una categoría relacionada con la biodiversidad y la bioecología, abordando temas como servicios ecosistémicos, bioecología, economía verde, sostenibilidad, agricultura, consideraciones sobre los límites de la biosfera o cambio climático. Asimismo, todos los trabajos incluyen una categoría de biorrecursos, destacando un enfoque específico y marcado en esta área.

La mayoría de los estudios revisados identifican un clúster o enfoque relacionado con la tecnología o ciencia (Trigo et al., 2013; Bugge et al., 2016; Priefer et al., 2017; Konstantinis et al., 2018; Vivien et al., 2019).

En alguno de los trabajos los biocombustibles y la bioenergía se presentan como temas separados de los recursos, indicando una especialización creciente debido al interés en este campo. Es importante señalar que las revisiones que abordan estos temas son las más recientes.

Por último, Konstantinis et al. (2018), Ordoñez Olivo et al (2023) y Sanz-Hernández et al (2019) incluyen categorías referidas a la energía, abarcando principalmente biocombustibles y eficiencia energética, así como temas relacionados con regulación y gobernanza, subrayando la relevancia de estos aspectos en el contexto actual.

El análisis de la bioeconomía a partir de diversas perspectivas revela una rica diversidad en los enfoques y temáticas abordadas por la literatura científica. Las revisiones literarias y los análisis bibliométricos han permitido identificar patrones comunes y tendencias significativas en el campo.

Los estudios revisados destacan un enfoque equilibrado entre biotecnología, biorrecursos y ecología, aunque se observa una creciente especialización en temas como biocombustibles y bioenergía. El reconocimiento de la biodiversidad y la bioecología como categorías recurrentes en la mayoría de los trabajos subraya su importancia central en la bioeconomía. La inclusión de categorías relacionadas con la energía y la eficiencia energética también pone de relieve la relevancia de estos temas en el contexto actual, donde la sostenibilidad y la gestión de recursos son cruciales.

Tabla 2. Resumen de Antecedentes

Literatura - Referencia	Clasificación Original	Metodología	Enfoques tecnológicos	Productos y recursos biológicos	Biodiversidad y bioecología	Energía y otros
Trigo et al. (2013)	6 senderos	Revisión literaria	Biotecnología	Bioproducto; Cadena de Valor; Eco intensificación	Servicios ecosistémicos, biodiversidad	
Bugge et al. (2016)	3 visiones	Revisión literaria	Biotecnología	Biorecursos	Bioecología	
Priever et al. (2017)	2 enfoques	Revisión literaria	Tecnología		Socioecológico	
D'Amato et al. (2017)	3 caminos	Análisis Bibliométrico		Bioeconomía	Economía circular; Economía verde	
Konstantinis et al. (2018)	4 clusters	Análisis Bibliométrico	Tecnología/Biomasa		Sustentabilidad/Biorrefinería	Agricultura/Biocombustibles; Bioenergía
Vivien et al. (2019)	3 tipos	Revisión literaria	Basada en la ciencia	Basada en la biomasa	Considera los límites de la biosfera	
Ordoñez Olivo et al (2023)	8 clústers	Análisis Bibliométrico		Bioeconomía; Biorremediación	Biodiversidad; Cambio climático; Agricultura	Biocombustible; Bioenergía; Eficiencia Energética
Sanz-Hernández et al (2019)	5 perspectivas	Revisión literaria		Economía circular; Salud humana	Agricultura	Bioenergía; Regulación y gobernanza

Fuente: Elaboración propia, basada en la lectura de los artículos mencionados. La clasificación original refiere a la cantidad de grupos de enfoques, senderos o visiones identificadas en la revisión, la metodología empleada en la revisión y luego la agrupación de la clasificación en grandes perspectivas o enfoques. Cada ítem en las celdas corresponde a un enfoque identificado en el trabajo de referencia.

6. Metodología

El objetivo de este trabajo es estudiar la literatura científica relacionada con la bioeconomía, identificar clústeres temáticos y analizar la posible relación de estos clústeres con la región geográfica. Para lograrlo, se ha diseñado un enfoque metodológico que consta de varias etapas.

En primer lugar, se llevará a cabo un análisis descriptivo y bibliométrico de la base de datos seleccionada, con el fin de realizar un mapeo exhaustivo del conocimiento científico existente sobre la bioeconomía. Este análisis permitirá entender la estructura y las tendencias generales en la literatura sobre este tema.

Posteriormente, se realizará un análisis de copalabras para identificar los clústeres temáticos presentes en la literatura. Esta técnica ayudará a agrupar los documentos científicos en función de las palabras clave que comparten, revelando así las principales líneas de investigación y enfoques dentro del campo de la bioeconomía.

Para caracterizar estos clústeres, se seleccionarán los diez documentos con mayor cantidad de citas en cada uno de ellos. Estos documentos serán sometidos a una lectura y análisis detallados con el objetivo de obtener interpretaciones significativas y establecer comparaciones relevantes entre los distintos enfoques identificados previamente, en el paso anterior.

Finalmente, se estudiará la relación de los clústeres temáticos con las regiones geográficas. Para establecer este vínculo, se utilizará la afiliación de los autores de los documentos, lo que pretende identificar patrones geográficos en los enfoques de investigación y entender cómo las características locales pueden influir en el desarrollo de la bioeconomía.

Para comprender mejor las dinámicas de la bioeconomía en la literatura científica, emplearemos la bibliometría como una herramienta central en nuestro análisis. La bibliometría tiene por objeto el tratamiento y estudio de datos cuantitativos procedentes de las publicaciones científicas. Permite el mapeo y expansión del conocimiento en un área particular de investigación, evidenciando conexiones entre las principales publicaciones, autores, instituciones, temas y otras características del campo en estudio.

La introducción del análisis de redes en este tipo de estudios ha permitido la construcción de mapas amplios de la producción científica que no solo miden el impacto de la producción, sino que también crean mapas cognitivos que observan la evolución del tema en estudio.

La detección de comunidades en análisis bibliométricos agrupa investigaciones en clústeres temáticos o sociales, permitiendo identificar temas, interrelaciones y patrones de colaboración (Blondel et al., 2008). Para agrupar trabajos, se usan cinco técnicas: análisis de citación, co-citación, acoplamiento bibliográfico, coautoría y co-palabras. Las tres primeras utilizan citas para medir influencia y similitud, mientras que la coautoría mide la colaboración, y el análisis de co-palabras identifica conexiones conceptuales entre palabras que coexisten en documentos. Estas técnicas ayudan a mapear y entender los enfoques en bioeconomía, revelando patrones y tendencias en la literatura.

El análisis de co-palabras encuentra conexiones entre conceptos que coexisten en títulos de documentos, palabras clave o resúmenes (Zupic & Cater, 2015). Se basa en el supuesto de que las palabras clave de una publicación constituyen una descripción adecuada de su contenido. La frecuencia de copalabras de los elementos se utiliza para medir la fuerza de las relaciones entre los elementos. Un grupo de palabras clave puede entenderse como una breve descripción de un tema de investigación. Este método se utiliza comúnmente para mapear temas de investigación o rastrear patrones (Callon et al. 1991; Courtial 1994; Coulter et al. 1998).

Este trabajo utiliza VOSviewer para construir mapas de producción científica, una herramienta avanzada en la visualización de grandes redes de información que combina técnicas de clustering y representación basada en la distancia. VOSviewer se seleccionó por sus métodos avanzados para agrupar redes, utilizando la técnica de mapeo VOS basada en matrices de co-ocurrencias. Van Eck y Waltman (2009) recomiendan la medida de fuerza de asociación, una medida de similitud probabilística, sobre otras medidas basadas en teoría de conjuntos como el coseno o el índice de Jaccard, por ser más adecuada en investigaciones cuantitativas.

La fuerza de asociación se formula de la siguiente manera: $s_{ij} = \frac{c_{ij}}{w_i w_j}$

Esta fórmula se interpreta como la fuerza de asociación (S_{ij}) de los ítems i y j es proporcional a la relación entre el número observado de co-ocurrencias de i y j por un lado, y al número

esperado de co-ocurrencias de i y j por otro, asumiendo que las coocurrencias de i y j son estadísticamente independientes (Van Eck & Waltman, 2009).

Luego, la técnica de mapeo construye un mapa bidimensional en el que los elementos $1, \dots, n$ (sea n el número de elementos a mapear) se ubican de tal manera que la distancia entre cualquier par de elementos i y j refleja su similitud AS_{ij} con tanta precisión como es posible. En este mapa, los elementos que tienen una alta similitud se ubican cerca uno del otro, mientras que aquellos con baja similitud se sitúan más alejados.

La idea de la técnica de mapeo de VOSviewer es minimizar una suma ponderada de las distancias euclidianas al cuadrado entre todos los pares de elementos.

Para evitar mapas triviales en los que todos los elementos tienen la misma ubicación, se impone la restricción de que la distancia promedio entre dos los elementos deben ser iguales a 1. En notación matemática, la función objetivo a minimizar es dado por: $V(\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_n) = \sum_{i < j} s_{ij} \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2$

Donde el vector $\mathbf{x}_i = (x_{i1}, x_{i2})$ denota la ubicación del elemento i en un mapa bidimensional y donde $\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|$ denota la norma euclidiana. La minimización de la función objetivo se realiza sujeta a la restricción: $\frac{2}{n(n-1)} \sum_{i < j} \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\| = 1$

El problema de optimización con restricciones se resuelve numéricamente en dos pasos. Se convierte primero en un problema de optimización sin restricciones. Y el último problema se resuelve entonces usando un algoritmo de mayorización. El algoritmo de mayorización utilizado por VOSviewer es una variante del algoritmo SMACOF descrito en la literatura de escalamiento multidimensional (por ejemplo, Borg y Groenen 2005). Para aumentar la probabilidad de encontrar una solución globalmente óptima, el algoritmo de mayorización se puede ejecutar varias veces, usando un algoritmo aleatorio que proporciona una solución inicial diferente cada vez.

Una vez que el mapa está optimizado, se aplica una técnica de clustering para identificar grupos de elementos. VOSviewer utiliza un método de clustering basado en la modularidad, que divide la red en clústeres maximizando la densidad interna de enlaces dentro de cada clúster y minimizando los enlaces entre diferentes clústeres.

Luego de construir los mapas de producción científica, el siguiente paso es evaluar la significación estadística de las particiones identificadas. Para ello, se procederá a identificar

nuevamente las particiones mediante el algoritmo de Louvain, implementado en el programa R.

El algoritmo de Louvain es una técnica de detección de comunidades complejas desarrollada por Vincent Blondel, Jean-Loup Guillaume y otros investigadores, y debe su nombre a la Universidad de Lovaina en Bélgica, donde fue creado. Se caracteriza por su eficiencia y capacidad para identificar comunidades significativas en grafos grandes y heterogéneos. Esta metodología se basa en la optimización de la modularidad, una métrica que evalúa la calidad de la partición de una red en comunidades. La efectividad del algoritmo de Louvain para revelar estructuras subyacentes en redes complejas ha hecho de esta técnica una herramienta fundamental para comprender la organización y dinámica de sistemas interconectados. Según Lancichinetti y Fortunato (2009), esta capacidad del algoritmo permite desentrañar patrones ocultos en grandes conjuntos de datos, lo cual es esencial en el análisis bibliométrico de la bioeconomía.

Para evaluar la calidad de los clústeres identificados, se aplicarán una serie de medidas de calidad de los agrupamientos de una red (Fortunato, 2010). Estas medidas permiten probar la significación estadística de las particiones obtenidas mediante una comparación de las medidas observadas con respecto a la distribución de medidas resultantes de permutar el grafo observado. Este enfoque, propuesto por Arratia y Renedo (2021), y consiste en generar múltiples permutaciones del grafo original y calcular la distribución de las medidas de calidad en estos grafos permutados.

En suma, la metodología de análisis de agrupamiento utilizada en este estudio combina la eficiencia y robustez del algoritmo de Louvain con técnicas avanzadas de evaluación estadística, permitiendo así una comprensión profunda y detallada de la estructura de la bioeconomía en la literatura científica.

6.1 Datos

Elegimos enfocarnos exclusivamente en investigaciones que se identifiquen a sí mismas como relacionadas con la bioeconomía. Compilamos los datos para la revisión de la literatura realizando una búsqueda de variaciones del término en la base de datos Scopus. Las variaciones del término utilizadas fueron: “bioeconomy”, “bio-economy” y “bio-based economy”. El periodo utilizado es 2003-2022. Se eligió 2003 como base dado que es el año que comienza a registrar más publicaciones relacionadas a la bioeconomía, en los años anteriores se registran solamente seis artículos (desde 1970 a 2002).

Dentro de los diferentes tipos de documentos disponibles en las plataformas científicas, artículos y revisiones publicadas en revistas son las fuentes más confiables para revisar literatura, dado que estas son revisadas por pares en su versión completa (Garza-Reyes, 2015). En este trabajo, siguiendo las recomendaciones establecidas en De Olivera et al. (2019) no incluiremos artículos de conferencias, notas, cartas, libros, capítulos de libros o editoriales. De esta manera la búsqueda se limitó a artículos y revisiones.

El acceso a la base de datos SCOPUS se realizó a través del portal TIMBÓ. Los campos de interés en este estudio son los propios de los artículos científicos, a saber: autores, filiación, título del artículo, idioma, nombre de la revista, palabras clave, tipo de documento, resumen, total de documentos citados y citas recibidas. La base de datos descargada contiene 4,675 documentos.

Para el tratamiento de los datos, en primera instancia eliminamos los 198 documentos duplicados utilizando el DOI. Luego se eliminaron 5 documentos que no contaban con información acerca de quiénes eran los autores. A efectos de poder manipular y visualizar mejor los datos se eliminaron 58 documentos que tenían más de 14 autores⁷. Por último, se eliminaron 25 documentos que no contaban con información acerca de la filiación de los autores (información crucial para los objetivos de este trabajo). La base de datos a trabajar está compuesta por 4,389 documentos.

⁷ Documentos con tantos autores pueden dar lugar a problemas de asignación de regiones/países.

7. Resultados

Los resultados de este estudio se dividirán en tres grandes secciones:

En la sección 7.1 *Exploración de la producción científica sobre la bioeconomía* se presentará un análisis bibliométrico detallado de la literatura existente sobre bioeconomía. Este análisis tiene como objetivo proporcionar una visión objetiva de la estructura y evolución de la investigación en este campo, identificando patrones, tendencias, y conexiones entre las diferentes publicaciones, autores e instituciones.

La sección 7.2 *Enfoques de la bioeconomía* esta compuesta por tres partes: la identificación de los enfoques de la bioeconomía. Evaluación de la calidad de las particiones e interpretación de los enfoques de la bioeconomía

7.2.a Identificación de los enfoques de la bioeconomía: se centrará en identificar los distintos enfoques o temáticas diferenciadas dentro de la literatura sobre bioeconomía.

7.2.b Evaluación de la calidad de las particiones: se expondrá la evaluación de la calidad de los resultados de las agrupaciones de palabras (en particiones, es decir, grupos mutuamente excluyentes), utilizando algoritmos de detección de comunidades.

7.2.c Interpretación de los enfoques de la bioeconomía: se realizará una caracterización detallada de los clusters identificados mediante la lectura y análisis de los diez documentos más citados en cada uno de ellos, lo que permitirá obtener interpretaciones significativas y establecer comparaciones relevantes.

Por último, en la sección 7.3 *Relación entre Clusters y Región* se explorará la relación entre los clusters temáticos identificados en la sección anterior y su vinculación con la región geográfica de origen de los autores

7.1 Exploración de la producción científica sobre la bioeconomía

Para realizar una exploración de la producción científica sobre la bioeconomía realizamos un análisis bibliométrico. El análisis se realizó sobre los 4,389 documentos relacionados a la bioeconomía, como se describió en el apartado anterior. Para su análisis se utilizaron los programas Bibliometrix (Aria & Cuccurullo, 2017), clustAnalytics (Renedo-Mirambell & Arratia, 2023) y VOSviewer.

Para determinar la cantidad, calidad y evolución del conocimiento científico sobre el concepto de bioeconomía, se presenta información de la producción científica anual, producción

científica por países, afiliaciones más importantes y el agrupamiento bibliográfico por autores, documentos y países.

En el gráfico 1 se observa la evolución de la producción de documentos que refieren a la bioeconomía. Encontramos que 64% de las mismas fueron publicadas en 2020, 2021 y 2022; denotando el auge del concepto en el último tiempo, y la importancia de revisar esta nueva literatura, ya que las revisiones anteriores datan de 2021 (a excepción de Olivo et al., 2023, pero este documento se restringe a América Latina).

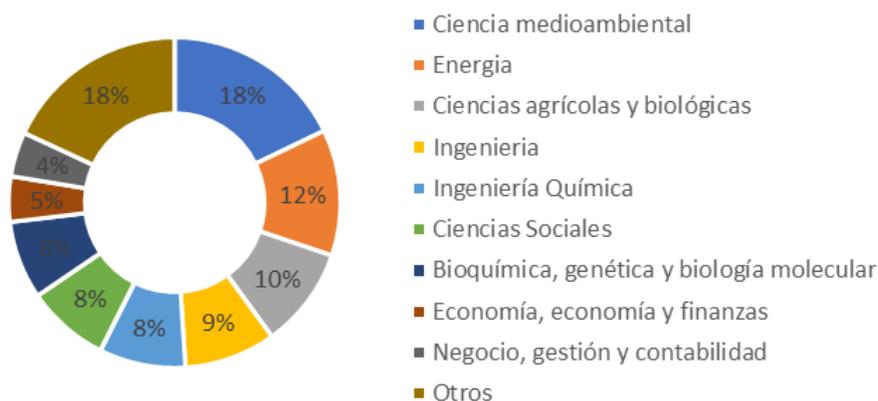


Fuente: Datos de año de publicación de los artículos sobre bioeconomía. Período: 2003-2022. Scopus (Agosto 2023).

Utilizando la categorización de Scopus por área temática, identificamos los principales campos en los cuales se produce la investigación sobre el concepto de bioeconomía. En la figura 2 se observa que las categorías más importantes son Ciencia medioambiental, Energía y Otros.

La categoría Otros ocupa el mayor porcentaje y está compuesta por múltiples categorías que representan menos del 3% individualmente. Las categorías son: Inmunología y microbiología, Medicamentos, Ciencias de la Computación, Ciencias de los Materiales, Ciencias de la Tierra y Ciencias Planetarias, Artes y Humanidades, Matemáticas, Física y astronomía, Multidisciplinario, Profesiones de salud, Farmacología, toxicología y farmacéutica, Enfermería, Ciencias de la decisión, Psicología, Veterinario y Odontología.

Figura 2. Datos de la principal área temática de los artículos sobre bioeconomía (según clasificación de SCOPUS). Período: 2003-2022



Fuente: Scopus (Agosto 2023). Unidad de medida: porcentaje de artículos del área temática sobre la cantidad total de artículos publicados.

A partir de los datos recopilados de Scopus, y utilizando la información de la filiación de los autores podemos identificar las instituciones que cuentan con mayor número de documentos publicados. Esta información permite conocer las instituciones que han abordado más la temática, determinando aquellas que son más productivas. Los datos sobre la productividad de las instituciones se resumen en la tabla 3, en la que se indica el nombre de la universidad, país y número de documentos publicados para el periodo 2003-2022. Los datos se presentan en orden decreciente, comenzando por las instituciones más productivas.

Tabla 3. Datos de país de filiación institucional de los autores de artículos sobre bioeconomía. Período: 2003-2022

Afiliación	Documentos
University of Hohenhem (Alemania)	183
Riga Technical Univeristy (Letonia)	153
Stuttgart (Alemania)	145
University of Helsinki (Finlandia)	133
Swedish Univeristy of Agricultural Sciences (Suecia)	119
University of Eastern Finlad (Finlandia)	116
Federal University of Parana (Brasil)	108
University of Bonn (Alemania)	101
Csir-Indian Institute of chemical technology (India)	95
Rwth Aachen University (Alemania)	87

Fuente: Scopus (Agosto 2023).

Para medir la producción científica de los países presentamos en la tabla 4, dos conjuntos de datos. El primero mide la producción científica del país mediante el número de apariciones de autores por afiliación de país. Es decir, cada artículo se atribuye a los países de todos sus coautores y, por lo tanto, se contarán tantas veces como autores. De ello se deduce que la suma

del indicador de producción necesariamente excede el número total de artículos. En el segundo se mide la producción por el País del autor de correspondencia en el que cada artículo se asocia a un solo país en función de la afiliación del autor de correspondencia; en caso de que no se especifique cual es el autor de correspondencia en el documento, el mismo no se asociará a ningún país. En este caso, la frecuencia por país corresponde al número total de artículos (siempre y cuando todos los documentos cuenten con autor de correspondencia).

La comparación de los dos conjuntos de datos es de interés para mitigar posibles sesgos y obtener una visión más completa. El conjunto basado en el autor de correspondencia puede sesgar los resultados hacia países con una mayor participación en la correspondencia de investigaciones, lo que podría distorsionar la percepción del panorama científico global. Por otro lado, la tabla que cuenta todos los autores proporciona una perspectiva más inclusiva, reflejando la contribución total de cada país en la investigación científica. Al presentar ambas tablas, se muestra la estabilidad del orden de los países independientemente del indicador considerado, lo que resalta tendencias consistentes y proporciona una imagen más robusta del panorama científico mundial.

En ambos existe una marcada distancia entre Alemania, el país más productivo y quien le sigue, Estados Unidos. Los diez países con mayor producción son los mismos en ambas formas de medirla, simplemente se observan cambios en el lugar del ranking. Lo cual se podría atribuir a que los autores de países europeos figuran como autores de correspondencia. O que los países no europeos (China, India y Brasil) tienen más coautores o publican con más frecuencia como autores no principales.

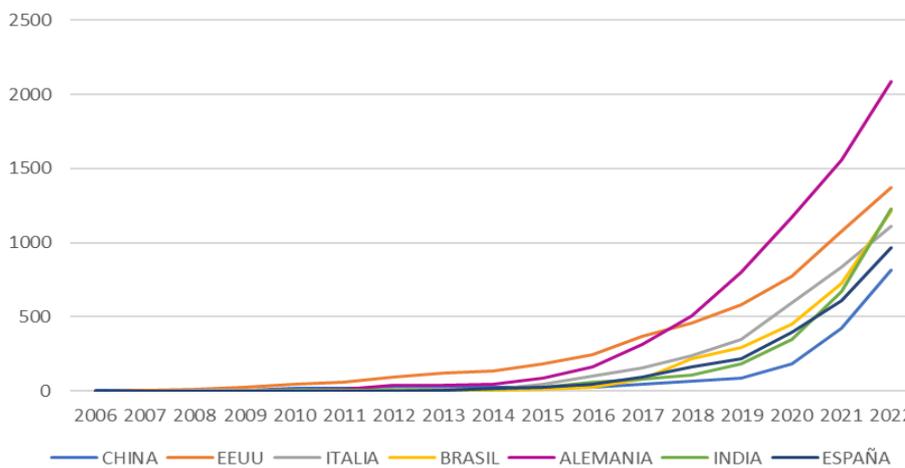
Tabla 4. Datos de país de residencia de los autores de artículos sobre bioeconomía. Período: 2003-2022

País	Frecuencia	País	Documentos
Alemania	2084	Alemania	470
Estados Unidos	1369	Estados Unidos	228
India	1226	Italia	200
Brasil	1216	España	179
Italia	1111	India	165
España	965	Brasil	162
China	816	Finlandia	158
Finlandia	696	China	134
Reino Unido	612	Reino Unido	133
Suecia	560	Suecia	105

Fuente: Scopus (Agosto 2023). Unidad de medida: número de apariciones de autores por afiliación de país, en la primera cada autor del artículo se contabiliza a su respectivo país (se cuentan todos los autores del artículo), en la segunda cada artículo se contabiliza una vez a su autor de referencia (se cuenta un autor por artículo).

En la figura 3, se observa la evolución de la producción por países a lo largo del horizonte temporal estudiado (midiendo la producción mediante el número de apariciones de autores por afiliación de país). Se observa que los países con mayor producción han cambiado a lo largo del tiempo. Si bien aún se observa una superioridad de publicaciones provenientes de Europa y Estados Unidos, las publicaciones del resto del mundo están comenzando a tomar protagonismo.

Figura 3. Evolución de la participación de autores de diversos países en la producción sobre bioeconomía



Fuente: datos de país de residencia de los autores de artículos sobre bioeconomía. Período: 2003-2022. Fuente: Scopus (Agosto 2023).

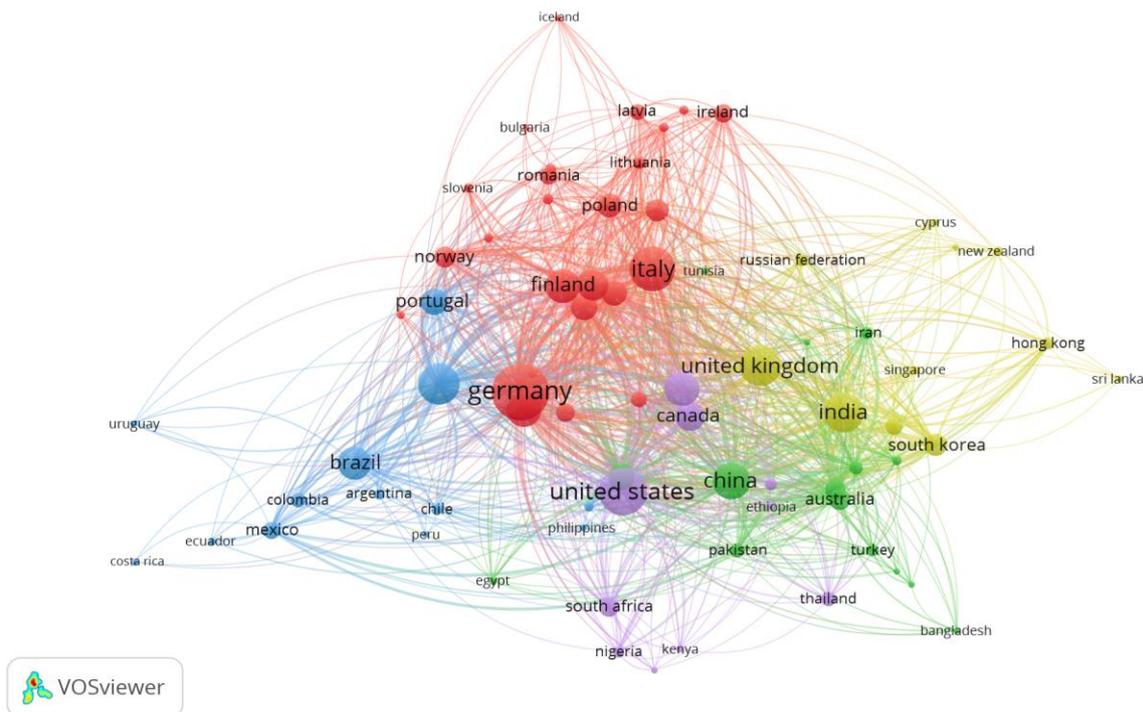
En la Figura 4, se realiza un análisis de coautoría por países en VosViewer. El análisis de coautoría examina las redes sociales que crean los científicos al colaborar en artículos científicos (Acedo et al., 2006). Se pueden identificar redes de colaboraciones entre autores, y la centralidad de las diferentes afiliaciones de los autores (países) dentro de las mismas. Para este análisis los autores se sustituyen por los países de sus filiaciones, lo que produce una red de países en la que los vínculos quedan definidos como la colaboración entre los científicos de ambos países en la publicación de artículos sobre bioeconomía.

Los lazos más estrechos sugieren una mayor cantidad de colaboraciones entre los científicos de esos países en la temática analizada. Sin embargo, no necesariamente indica una relación directa con la distancia geográfica entre los países. Aunque es común encontrar una mayor colaboración entre países cercanos debido a la facilidad de comunicación y coordinación, otros factores como acuerdos bilaterales, redes de investigación internacionales, y similitudes en los recursos y capacidades científicas pueden influir en los patrones de colaboración entre países.

En concordancia con lo observado en la figura 3, la estructura de la colaboración está relativamente centralizada, por lo que algunos países no sólo colaboran, sino que lo hacen ocupando posiciones centrales.

Se observan cinco clústeres marcados, que denotan un gran grado de colaboración entre regiones geográficas. El clúster azul es el más periférico y contiene en su mayoría países de América Latina, junto con España y Portugal; estos últimos representan la mayoría de las conexiones con el resto de la red. El clúster verde contiene a China, Australia, Pakistán e Irán. El clúster amarillo está compuesto por Reino Unido, India, Corea del Sur, Nueva Zelanda, Hong Kong, Singapur, Chile, Sri Lanka y Rusia. En el clúster violeta se encuentran Estados Unidos, Canadá, Holanda, Sudáfrica, Tailandia, Nigeria, Kenia y Gana. Por último, el clúster rojo contiene países europeos (entre los cuales se destacan Alemania, Finlandia, Italia, Suecia, Suiza).

Figura 4. Red de países según la colaboración científica en la publicación de artículos de bioeconomía



Fuente: Scopus (Agosto 2023). Los círculos representan el país de residencia de los autores. Las líneas representan las coautorías entre dos autores con filiaciones de países diferentes. El tamaño de los círculos representa la cantidad de autores con residencia en el país. Los colores representan grupos de países similares por compartir mayor cantidad de coautores en las publicaciones analizadas.

En síntesis, la bioeconomía es un concepto en evolución, donde más de la mitad de la producción observada se ha producido en los últimos tres años (2020-2022), y que en estos

últimos años han aparecido en escena nuevos países con un número importante de publicaciones.

7.2 Enfoques de la bioeconomía

Para un mejor abordaje de esta sección, la misma se dividió en tres partes. La primera, consta de la identificación de enfoques dentro de la bioeconomía y se realiza mediante la agrupación de trabajos relevantes en el área. Para ello, se utiliza el programa VOSviewer, una herramienta que permite el análisis de redes, en este caso aplicadas a las palabras clave para visualizar y comprender las diferentes corrientes y temáticas predominantes en el campo. Aunque VOSviewer es eficaz en la representación de las redes, no proporciona herramientas para medir la calidad de las particiones identificadas. Por esta razón, se exporta la red obtenida y se aplica el algoritmo de detección de comunidades Louvain en el programa R.

En la segunda parte se argumenta la elección del algoritmo de Louvain, se presentan las medidas de calidad utilizadas para evaluar la precisión y validez de las particiones obtenidas. Estas medidas son esenciales para garantizar que los clústeres identificados reflejen con precisión las diferentes perspectivas y enfoques dentro de la literatura sobre bioeconomía.

El último apartado consiste en una revisión detallada de los diez documentos con más citas dentro de cada clúster identificado. Esta revisión se realiza para profundizar en la caracterización de cada clúster, permitiendo una comprensión más detallada de los enfoques y temas principales representados.

7.2.a Identificación de los enfoques de la bioeconomía

Luego de realizar la técnica de detección de comunidades aplicada a las palabras clave encontramos 6 clústeres diferenciados. En la tabla 5 se muestra la cantidad de palabras que conforman la base de datos, y la distribución de estas en los diferentes clústeres. La base de datos consta de 965 palabras⁸.

⁸ En VOSviewer, el proceso de eliminación y unificación de palabras clave se realiza de la siguiente manera: primero se eliminan las declaraciones de derechos de autor, en caso de hubiese alguno de estos en las palabras clave. Luego, se aplica un algoritmo de detección de oraciones (Apache OpenNLP) para dividir el texto en oraciones y etiquetar palabras. Se identifican frases sustantivas (secuencias de sustantivos y adjetivos), que luego se unifican al remover caracteres no alfabéticos, acentos, convertir mayúsculas en minúsculas y singularizar palabras.

Tabla 5. Datos de cantidad de palabras clave según grupos de palabras identificadas por el algoritmo VOS en artículos sobre bioeconomía. Período: 2003-2022

	Clúster	Palabras	Porcentaje
1	Enfoque biotecnológico	277	29%
2	Enfoque biológico	245	25%
3	Enfoque circular	215	22%
4	Enfoque basado en biorefinerías	110	11%
5	Enfoque ecológico: bioplásticos	74	8%
6	Enfoque sustentable	44	5%
Total		965	100%

Fuente: Scopus (Agosto 2023).

En la tabla 6, se presentan las diez palabras más frecuentes en cada clúster. La frecuencia se refiere al número de veces que cada palabra se utiliza como clave en los textos. Estas palabras permiten una primera interpretación del contenido de cada clúster. Esta interpretación se complementará con un análisis de los artículos más representativos en la sección 7.2.c.

Tabla 6. Datos de palabras clave en clústers identificados con el algoritmo VOS en artículos sobre bioeconomía. Período: 2003-2022

<i>Enfoque biotecnológico</i>		<i>Enfoque biológico</i>		<i>Enfoque circular</i>	
Palabra	Frecuencia red	Palabra	Frecuencia red	Palabra	Frecuencia red
bioconversion	712	acidification	236	animals	828
biotechnology	692	additives	179	biogas	659
bioprocess	690	agricultural land	243	biofuel production	547
carbon	673	agricultural production	127	circular bioeconomy	543
cells	670	agricultural robots	533	animal	496
cellulose	605	agriculture	750	economic aspect	495
controlled study	604	agroforestry	178	agricultural wastes	366
bioremediation	574	agroindustry	151	agricultural waste	356
bioethanol	567	mass	154	animal food	340
chemistry	567	alternative agriculture	170	Biomass conversion	319
<i>Enfoque basado en biorrefinerías</i>		<i>Enfoque ecológico: bioplásticos</i>		<i>Enfoque sustentable</i>	
Palabra	Frecuencia red	Palabra	Frecuencia red	Palabra	Frecuencia red
biomass	630	biodegradation	793	biofuel	538
anaerobic digestion	629	biopolymer	767	biofuels	431
biomass production	625	biopolymers	484	bioreactor	431
biodiesel	619	biodegradability	456	Ecosystem restoration	374
biorefineries	608	biomolecules	355	biochar	347
ammonia	571	biodegradable polymers	335	anaerobic growth	328
biochemical composition	547	biodegradation, environmental	326	Ecosystem restoration	328
adsorption	500	bio-plastics	304	charcoal	251
chemical oxygen demand	456	elastomers	264	combustion	203
nonhuman	417	bioplastic	259	concentration	199

Fuente: Scopus (Agosto 2023).

Encontramos seis clústeres diferenciados, pero que tienen algunos conceptos en común. Por ejemplo, los clústeres 2, 3 y 4 tienen muy presente el concepto de biomasa; sin embargo, el énfasis es diferente. El clúster 2 relaciona la biomasa con lo forestal, el 3 la biomasa con los biorresiduos; y el clúster 4 la relaciona con la biorrefinería.

El clúster 1 biotecnológico aborda aspectos vinculados a la biología y la química, con un enfoque en procesos biotecnológicos y de bioconversión. Palabras clave como "bioconversion", "biotechnology", "bioprocess", "bioremediation", "bioethanol", "carbon", "cells", "cellulose", "controlled study", y "chemistry" indican un fuerte énfasis en la investigación y aplicaciones biotecnológicas. La relevancia de este clúster se destaca por su participación en procesos productivos, especialmente aquellos relacionados con la biocelulosa y la química de materiales biológicos.

Al adentrarnos en el análisis de los clústeres 2, 3 y 4, se revela un interés compartido en la biomasa, aunque con matices significativos que definen sus respectivos enfoques.

Se observa que el segundo clúster biológico presenta una notable asociación con temas relacionados con la agricultura y la producción agroindustrial. Palabras clave como "agricultural land", "agricultural production", "agricultural robots", "agriculture", "agroforestry", y "agroindustry" sugieren una fuerte interconexión entre la agricultura y la agroindustria. Además, términos como "acidification", "additives", "mass", y "alternative agriculture" indican un enfoque en aspectos específicos de la producción agrícola y su impacto ambiental. Este conjunto de temáticas resalta la relación significativa entre la agricultura, la innovación tecnológica y la sostenibilidad ambiental.

El tercer cluster, enfoque circular, se distingue por la incorporación de componentes asociados a la economía circular, tales como biogás, biofuel production, biomass conversion, y gestión de residuos agrícolas. Palabras clave como "animals", "animal food", "economic aspect", "agricultural wastes", y "agricultural waste" reflejan un enfoque integral que abarca tanto la producción de bioenergía como la sostenibilidad en la gestión de recursos. Esta particularidad sugiere un enfoque centrado en la sostenibilidad y la gestión eficiente de recursos, destacando la importancia de prácticas ambientales y circulares en este grupo.

El clúster 4 se distingue por su enfoque en biorrefinerías, procesos biotecnológicos y biocombustibles. Palabras clave como "biomass", "anaerobic digestion", "biomass

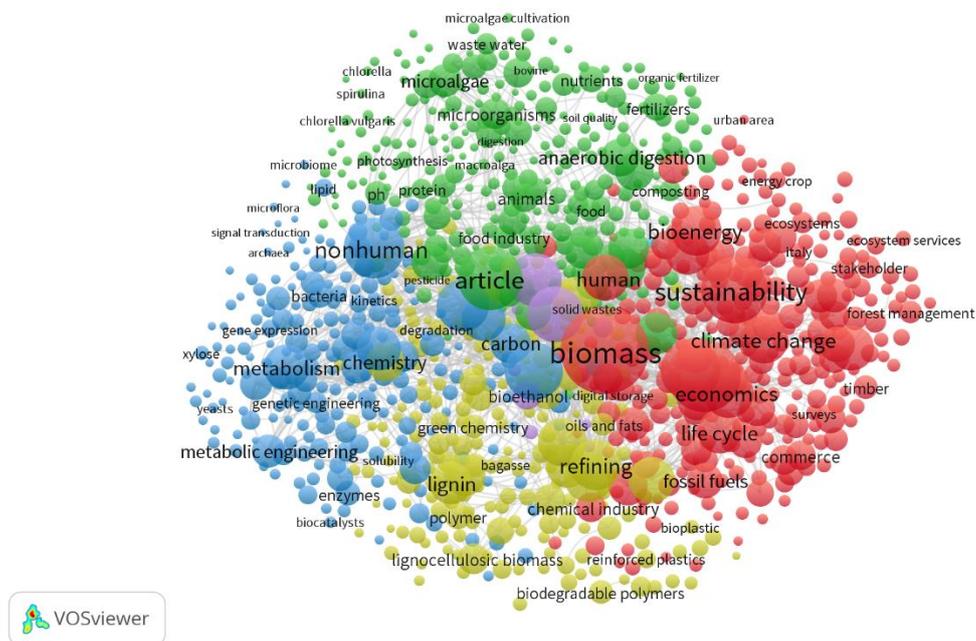
production", "biodiesel", "biorefineries", "ammonia", "biochemical composition", "adsorption", "chemical oxygen demand", y "nonhuman" indican un fuerte énfasis en la utilización de biomasa como sustrato clave para la producción de biocombustibles mediante procesos avanzados de biotecnología. Este clúster resalta la innovación y la aplicación de tecnologías de vanguardia para aprovechar la biomasa en la generación de combustibles sostenibles.

En resumen, los clústeres 2, 3 y 4 convergen en su interés por la biomasa, pero cada uno aporta un matiz único a través de sus respectivos énfasis en la gestión forestal, la economía circular y las tecnologías avanzadas.

En cuanto a los clústeres 5 y 6, a pesar de sus similitudes, presentan enfoques distintos. El clúster 5 se centra particularmente en la sustitución de plásticos, abordando conceptos como biodegradabilidad, biopolímeros y plásticos biodegradables. En contraste, el clúster 6 se destaca por su enfoque en biotecnologías y biomateriales, incluyendo términos como biofuel, bioreactor, y biochar, y abarca aspectos de sostenibilidad de manera más general.

Para visualizar gráficamente la red de palabras, en la figura 5 se presenta el mapa de coocurrencia de palabras claves en VosViewer.

Figura 5. Red de palabras según la colaboración científica en la publicación de artículos de bioeconomía



Fuente: Scopus (Agosto 2023). Los círculos representan las palabras claves. Las líneas representan las conexiones entre dos palabras claves en artículos. El tamaño de los círculos representa la cantidad de artículos que contienen esa palabra clave.

7.2.b Evaluación de la calidad de las particiones

Antes de profundizar en la interpretación de los clústeres en la sección 7.2.c, se presenta una prueba de la calidad de los resultados obtenidos mediante la aplicación de los algoritmos de clustering. Para llevar a cabo el análisis de la calidad de los resultados del clustering, hemos adoptado las medidas sistematizadas por Lancichinetti y Fortunato (2009). Estas medidas se centran en evaluar las particiones de una red, determinando en qué medida estas particiones reflejan la modularidad de la red en cuestión.

Esta prueba valida que los resultados no son triviales, en el sentido de que los grupos identificados efectivamente pertenecen a una red diferenciada. Esto es crucial, ya que la identificación de los clústeres podría ser un resultado artificial, originado únicamente por la importancia desigual de ciertas palabras clave. Sin embargo, es importante señalar las limitaciones de esta prueba. No permite afirmar con certeza que existen exactamente seis clústeres, ni que las palabras identificadas sean las que los componen. La prueba se limita a evaluar la probabilidad de que el resultado observado se produzca en una red que realmente no contiene grupos distintos de palabras.

Para implementar este análisis utilizamos en programa R⁹, identificamos los clústeres, aplicando tres algoritmos reconocidos en la literatura de análisis de redes:

Louvain: Un método que optimiza la modularidad de la red, agrupando nodos de manera jerárquica para maximizar la densidad de enlaces dentro de los módulos en relación con los enlaces entre módulos.

Label Propagation (Propagación de Etiquetas): Este algoritmo es iterativo y se basa en la idea de que los nodos adoptan la etiqueta que la mayoría de sus vecinos tiene, lo que facilita la detección de comunidades de manera eficiente y rápida.

Walktrap: Utiliza los paseos aleatorios (random walks) para detectar comunidades, bajo el supuesto de que los paseos aleatorios tienden a quedar atrapados en la misma comunidad debido a la mayor densidad de conexiones dentro de la comunidad.

Al aplicar estos algoritmos, buscamos no solo identificar las comunidades presentes en las redes de palabras, sino también comparar la efectividad y precisión de cada algoritmo en la identificación de estructuras modulares en nuestras redes de estudio. Esta metodología nos

⁹Mirambell, M.R. (2023), clustAnalytics: Cluster Evaluation on Graphs, R package version 0.5.4, <https://CRAN.R-project.org/package=clustAnalytics>.

permite obtener una comprensión más profunda y robusta de la organización interna de las redes y de la calidad de las particiones generadas.

A continuación se expondrá una breve explicación de las medidas de calidad de los resultados. La modularidad mide cómo de bien un grafo se divide en comunidades, siendo más alta con el algoritmo Louvain, lo que indica clústeres bien definidos. La densidad interna refleja la cohesión dentro de un clúster, y una alta densidad sugiere una fuerte conexión interna. La razón de corte y la conductancia, ambas, miden la proporción de aristas que conectan diferentes clústeres; valores bajos en estas métricas indican una buena partición. El corte normalizado ajusta la razón de corte considerando el tamaño de los clústeres. El grado promedio indica cuán interconectados están los nodos, con un valor alto que refleja una buena conexión. La expansión evalúa cuántas aristas conectan un subgrupo de nodos con el resto de la red; una baja expansión sugiere una comunidad aislada. Las aristas internas son conexiones dentro de una comunidad; un número mayor indica una comunidad bien cohesionada.

En la Tabla 7, se observa que los algoritmos Label Propagation y Walktrap generan clústeres con valores más bajos en las métricas de razón de corte, conductancia y corte normalizado. Sin embargo, es importante destacar que todos estos valores son relativamente bajos en general.

A pesar de esto, al considerar todas las medidas de calidad evaluadas, el algoritmo Louvain se destaca por ofrecer una calidad de partición óptima. Este algoritmo no solo presenta una mayor modularidad y densidad interna, sino que también mantiene valores bajos en razón de corte, conductancia y corte normalizado, lo que sugiere una partición eficiente y bien definida de la red.

Tabla 7. Significancia de la asignación de clúster

Medidas de calidad	Louvain	label prop	walktrap
Modularidad	0,3**	0**	0,25**
Densidad Interna	0,06**	0,022	0,088**
Razón de corte	0,01**	NaN	0,01**
Conductancia	0,45**	0**	0,34**
Corte normalizado	0,66**	NaN	0,58**
Grado Promedio	5,87**	10,74	7,49**
Expansión	9,74**	0**	6,5**
Aristas Internas	1477,44**	10345	3031,719**

Fuente: Scopus (Agosto 2023). ** Valores significativos al 95%.

7.2.c Interpretación de los enfoques de la bioeconomía

La identificación de clústeres, se realizó mediante un análisis copalabras. Si bien la utilización de palabras claves proporciona importantes pistas sobre los enfoques, se han identificado algunas debilidades en este enfoque. Por ejemplo, como señalan algunos investigadores, las palabras pueden ser utilizadas en múltiples contextos, o pueden ser muy generales, haciendo difícil la comprensión del significado de las relaciones entre palabras.

Para mitigar estas dificultades, poder caracterizar los clústeres y relacionarlos con enfoques de la bioeconomía, se procedió a realizar una revisión de los diez documentos con más citas dentro de cada clúster. Para identificarlos, se realizó un análisis bibliométrico dentro de cada clúster.

Clúster 1: Enfoque biotecnológico

En la tabla 8, se presentan los documentos revisados pertenecientes al clúster 1, el país de sus autores, año y cantidad de citas.

Tabla 8. Top 10 documentos con más citas dentro del clúster 1

Referencias	Título	País	Citas
Vaaje-Kolstad, G., Westereng, B., Horn, S., Liu, Z., Zhai, H., Sørli, M., Eijsink, V. (2010).	An oxidative enzyme boosting the enzymatic conversion of recalcitrant polysaccharides	Noruega	910
Alan C., Zhang, Q., Lyne, P. (2005)	Ethanol – Diesel fuel blends	Estados Unidos, Sud Africa	875
Mansfield, S., Kim, H., Lu, F., Ralph, J. (2012).	Whole plant cell wall characterization using solution-state 2D NMR	Canada, Estados Unidos	491
Kontturi, E., Laaksonen, P., Linder, M., Nonappa., Gröschel A., Rojas, O., Ikkala, O. (2018).	Advanced Materials through Assembly of Nanocelluloses	Finlandia	418
Rol, F., Belgacem, M., Gandini, A., Bras, J. (2019).	Recent advances in surface-modified cellulose nanofibrils	Francia	396
Koutinas, A., Vlysidis, A., Pleissner, D., Kopsahelis, N., Lopez Garcia, I., Kookos, I., Papanikolaou, S., Kwan, T., Lin, C. (2014).	Valorization of industrial waste and by-product streams via fermentation for the production of chemicals and biopolymers	España, Grecia, Hong Kong	378
Poblete-Castro, I., Becker, J., Dohnt, K., Martins, V., Wittmann, C.(2012).	Industrial biotechnology of <i>Pseudomonas putida</i> and related species	Alemania	240
Müller, M., Kügler, J., Henkel, M., Gerlitzki, M., Hörmann, B., Pöhnlein, M., Syldatk, C., Hausmann, R. (2012).	Rhamnolipids--next generation surfactants?	Alemania	231
Becker, Judith & Wittmann, Christoph. (2015). ChemInform	Advanced biotechnology: metabolically engineered cells for the bio-based production of chemicals and fuels, materials, and health-care products	Alemania	214
Ruiz, H., Conrad, M.,Sun, S., Sanchez, A., Rocha, G., Romaní, A., Castro, E., Torres, A., Rodríguez-Jasso, R., Andrade, L., Smirnova, I., Sun, R., Meyer, A. (2020).	Engineering aspects of hydrothermal pretreatment: From batch to continuous operation, scale-up and pilot reactor under biorefinery concept	Alemania, Brasil, España, Portugal, Uruguay	191

Fuente: Scopus (Agosto 2023).

Los trabajos revisados enfatizan la importancia de la biotecnología. La transición de una economía basada en combustibles fósiles hacia una impulsada por la biotecnología requiere la integración de sinergias, innovaciones y avances científicos, así como transformaciones fundamentales en la infraestructura de la industria química (Koutinas et al., 2014). Entendiendo que el enfoque de bioeconomía sostenible debería combinar holísticamente una estrategia económica y tecnológica.

Los trabajos se centran en analizar los procesos tecnológicos, investigando su desarrollo, estado actual y las estrategias más eficientes para llevarlos a cabo. Por ejemplo, Mansfield et al. (2012), Kontturi et al. (2018), Rol et al. (2019) estudian el desarrollo de materiales avanzados en el campo de las estructuras basadas en celulosa, nano celulosa; Koutinas et al. (2014) y Becker et al. (2015) el potencial de utilizar flujos de desechos y subproductos de actividades industriales para la producción de productos químicos mediante la bioconversión microbiana; y Alan et al. (2005) la utilización del etanol como biocombustible, etc.

Clúster 2: Enfoque biológico

Caracterizando la segunda partición mediante los documentos detallados en la tabla 9, se entiende la bioeconomía como el desarrollo de la producción biológica sostenible de productos químicos, basada en la eficiencia de los recursos y la minimización de residuos. La transición hacia la bioeconomía dependerá del avance tecnológico de una variedad de procesos, del logro de avances en términos de desempeño técnico y rentabilidad; y de la disponibilidad de biomasa.

Los dos primeros clústeres biotecnología y biología comparten el énfasis en la tecnología y la economía circular aplicada a la biomasa y residuos. En el primer clúster la discusión es más técnica, y se centra en los procesos químicos. En el segundo, la discusión es más amplia y abarca temas como desarrollo y sostenibilidad, centrandose en los productos finales de los procesos.

Los trabajos colocan en un lugar de suma importancia al uso eficaz de materias primas de biomasa, y la aplicación a gran escala de la misma, que podrá ser implementada mediante investigaciones dirigidas al desarrollo e innovación.

En el documento de Sheldon et al. (2018) establecen que el desarrollo de una producción biológica sostenible de productos químicos encaja bien con el concepto de una economía circular, basada en la eficiencia de los recursos y la minimización de residuos mediante el diseño, para reemplazar las economías lineales tradicionales de tomar-fabricar-usar-eliminar.

FitzPatrick et al. (2010) investigan cómo la utilización efectiva de materias primas de biomasa, en especial los materiales lignocelulósicos (biomasa vegetal mayormente compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina), en aplicaciones a gran escala, evolucionará a partir de investigaciones innovadoras enfocadas en el desarrollo e implementación de biorrefinerías: sistemas multifacéticos que producen múltiples productos a través de procesos secuenciales.

Los artículos analizan el papel que tiene la sustentabilidad dentro de los diferentes abordajes de la bioeconomía; las diferentes estrategias y políticas relativas al desarrollo de la bioeconomía, y los avances en la purificación y los procesos de la biomasa para la producción de insumos mediante refinerías. Brodin et al. (2017) señalan que el avance de materiales renovables y de origen biológico de alta eficiencia es crucial para el desarrollo sostenible de la industria basada en biotecnología. Sin embargo, la fabricación de bioplásticos a partir de biomasa forestal requiere un fraccionamiento preciso en sus componentes principales, como la celulosa, hemicelulosas y lignina, junto con procesos de purificación eficaces y rutas económicamente viables para su conversión en monómeros y moléculas base, que sirvan como cimientos para la producción de bioplásticos.

Particularmente, en los trabajos de Staffas et al. (2013) y Stegmann et al. (2020) se analizan las medidas llevadas a cabo por la Comisión Europea respecto a la implementación de la bioeconomía; las diferentes visiones y el entendimiento de la relación entre bioeconomía y sostenibilidad fuerte/débil; revisan los avances actuales de la producción de bioplásticos a partir de biomasa forestal como base para la producción de bioplásticos, etc.

Tabla 9. Top 10 con más citas dentro del clúster 2

Referencias	Título	País	Citas
FitzPatrick, M., Champagne, P., Cunningham, M., Whitney, R. (2010).	A biorefinery processing perspective: treatment of lignocellulosic materials for the production of value-added products	Canada	910
Scarlat, N., Dallemand, J., Monforti-Ferrario, F., Nita, V. (2015).	The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts	Italia	875
Sheldon, R. A. (2018).	Metrics of Green Chemistry and Sustainability: Past, Present, and Future	Sud Africa	491

McCormick, K., & Kautto, N. (2013).	The Bioeconomy in Europe: An Overview	Suecia	418
Haveren, J.V., Scott, E.L., & Sanders, J.P. (2008).	Bulk chemicals from biomass	Holanda	396
Loiseau, E., Saikku, L., Antikainen, R., Droste, N., Hansjürgens, B., Pitkänen, K., Leskinen, P., Kuikman, P., & Thomsen, M. (2016).	Green economy and related concepts: An overview	Francia, Dinamarca, Finlandia, Holanda	378
Staffas, L., Gustavsson, M., & McCormick, K. (2013).	Strategies and Policies for the Bioeconomy and Bio-Based Economy: An Analysis of Official National Approaches	Suecia	240
Stegmann, P., Londo, M., Junginger, M. (2020).	The Circular Bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters	Holanda	231
Brodin, M., Vallejos, M., Opedal, M., Area, M., Chinga, Gary. (2017).	Lignocellulosics as sustainable resources for production of bioplastics – A review	Noruega, Argentina	214
Pfau, S., Hagens, J., Dankbaar, B., & Smits, A. (2014).	Visions of Sustainability in Bioeconomy Research	Holanda	191

Fuente: Scopus (Agosto 2023).

Clúster 3: Enfoque circular

Los artículos relacionados a las palabras clave que componen este clúster destacan desde la economía circular la importancia de la recuperación de recursos del flujo de desechos para una economía sostenible, conservación del ecosistema y reducir la dependencia de los recursos naturales. Si bien esto estaba presente en los anteriores clusters, aquí la reflexión en torno a la economía circular tiene mayor centralidad. La economía circular es vista en términos de su importancia y posibles beneficios para la sustentabilidad, en cambio en los anteriores se enfocaba más en los aspectos tecnológicos o biológicos que permitían la viabilidad del tratamiento de residuos.

La biomasa juega un rol muy importante en una economía circular en términos de productos materiales y suministro de energía. En su documento FitzPatrick et al. (2020) reconocen la grave amenaza que representan los plásticos para los ecosistemas naturales y la salud humana.

Particularmente, los documentos analizan los desechos y residuos orgánicos como recursos potenciales que pueden utilizarse para suministrar productos químicos, nutrientes y combustibles; la producción de algas y microalgas para el crecimiento y producción de biomasa; producción de biogas a partir de desechos agrícolas, etc. Wainaina et. al (2020) argumentan que, en una economía circular basada en la biología, los desechos orgánicos y residuos se consideran recursos valiosos que pueden ser aprovechados para proporcionar productos químicos, nutrientes y combustibles esenciales para la sociedad. Investigan el papel

de las tecnologías de digestión aeróbica y anaeróbica en el progreso hacia una sociedad circular basada en la biología.

En la misma línea Sherwood (2020) expone que en una economía circular, es fundamental maximizar continuamente el valor de los recursos, lo que implica minimizar la generación de residuos no reutilizables. La biomasa desempeña un papel crucial en una economía circular al proporcionar tanto productos materiales como energía.

Tabla 10. Top 10 documentos con más citas dentro del clúster 3

Referencias	Título	País	Citas
Patrício Silva, A. L., Prata, J. C., Walker, T. R., Duarte, A. C., Ouyang, W., Barcelò, D., & Rocha-Santos, T. (2021).	Increased plastic pollution due to COVID-19 pandemic: Challenges and recommendations	Portugal, España, China, Canada	499
Wainaina, S., Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Chen, H., Singh, E., Kumar, A., Ravindran, B., Awasthi, S. K., Liu, T., Duan, Y., Kumar, S., Zhang, Z., & Taherzadeh, M. J. (2020).	Resource recovery and circular economy from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies	China, Suecia, India, Alemania, Korea del Sur	252
De Vrieze, J., Saunders, A. M., He, Y., Fang, J., Nielsen, P. H., Verstraete, W., & Boon, N. (2015).	Ammonia and temperature determine potential clustering in the anaerobic digestion microbiome	Belgica, China, Dinamarca	235
Ullmann, J. (2021).	Current Status of the Algae Production Industry in Europe: An Emerging Sector of the Blue Bioeconomy	Estados Unidos	193
Sherwood J. (2020).	The significance of biomass in a circular economy	Reino Unido	191
Mak, T. M. W., Xiong, X., Tsang, D. C. W., Yu, I. K. M., & Poon, C. S. (2020).	Sustainable food waste management towards circular bioeconomy: Policy review, limitations and opportunities	Reino Unido, Hong Kong	184
Kapoor, R., Ghosh, P., Kumar, M., Sengupta, S., Gupta, A., Kumar, S. S., Vijay, V., Kumar, V., Kumar Vijay, V., & Pant, D. (2020).	Valorization of agricultural waste for biogas based circular economy in India: A research outlook	India	156
Laurens, L., Markham, J., Templeton, D., Christensen, E., Wychen, S., Vadelius, E., Chen-Glasser, M., Dong, T., Davis, R., Pienkos, P. (2017).	Development of algae biorefinery concepts for biofuels and bioproducts; a perspective on process-compatible products and their impact on cost-reduction	Estados Unidos	155
Sawatdeenarunat, C., Nguyen, D., Surendra, K. C., Shrestha, S., Rajendran, K., Oechsner, H., Xie, L., & Khanal, S. K. (2016).	Anaerobic biorefinery: Current status, challenges, and opportunities	Estados Unidos, Alemania, China	155
Nagarajan, D., Lee, D. J., Chen, C. Y., & Chang, J. S. (2020).	Resource recovery from wastewaters using microalgae-based approaches: A circular bioeconomy perspective	Taiwan	147

Fuente: Scopus (Agosto 2023).

Clúster 4: Enfoque basado en biorrefinerías

Los documentos representativos de este clúster se centran en explorar diversos aspectos de las biorrefinerías. La producción de biocombustibles de segunda generación a partir de biomasa no comestible se considera fundamental para el establecimiento de una bioeconomía sostenible en el futuro. Aunque comparte con clústeres anteriores la idea básica de transformar biomasa

en bioproductos mediante el uso de tecnología, este clúster pone un énfasis particular en el papel crucial de las biorrefinerías.

Las biorrefinerías tienen un papel destacado en la producción científica reciente, lo que se confirma a través de diversas revisiones, como las de Konstantinis et al. (2018) y Ordoñez Olivo et al. (2023). Las biorrefinerías son entendidas como un medio sostenible de generar múltiples productos a partir de diversas materias primas de biomasa mediante la incorporación de tecnologías. Un concepto que visualiza los residuos de valor negativo como una posible materia prima renovable. Ponen el foco en los diversos procesos que pueden emplearse para la generación de energía; la biorrefinería y su rol en la transición hacia una bioeconomía circular; el concepto de biorrefinería de lignocelulosa; tecnologías para la extracción de biomasa.

Particularmente, se destacan los diversos procesos empleados para la generación de energía, el papel de las biorrefinerías en la transición hacia una bioeconomía circular, el concepto de biorrefinería de lignocelulosa, y las tecnologías utilizadas para la extracción de biomasa.

Ubando et al. (2020) entienden que la biorrefinería es un medio sostenible de generar múltiples productos bioenergéticos a partir de diversas materias primas de biomasa mediante la incorporación de tecnologías de conversión relevantes. En su trabajo, realizan una revisión exhaustiva de diferentes modelos de biorrefinería utilizados para diversas materias primas de biomasa, como lignocelulosas, algas y numerosos tipos de residuos. La revisión se centra en cómo la biorrefinería es fundamental en la transición de varias industrias basadas en biomasa a una bioeconomía circular.

Horn et al. (2012) afirman que en una futura bioeconomía, el recurso primario de biomasa terrestre será la biomasa lignocelulósica, la cual presenta una resistencia intrínseca y representa un desafío en su procesamiento. La conversión enzimática de los polisacáridos presentes en la biomasa lignocelulósica será una tecnología fundamental en las próximas biorrefinerías, y actualmente está siendo objeto de investigación intensiva.

Tabla 11. Top 10 documentos con más citas dentro del clúster 4

Referencias	Título	País	Citas
Horn, S. J., Vaaje-Kolstad, G., Westereng, B., & Eijsink, V. G. (2012).	Novel enzymes for the degradation of cellulose	Noruega	722
Venkata Mohan, S., Nikhil, G. N., Chiranjeevi, P., Nagendranatha Reddy, C., Rohit, M. V., Kumar, A. N., & Sarkar, O. (2016).	Waste biorefinery models towards sustainable circular bioeconomy: Critical review and future perspectives	India	549

Dahiya, S., Kumar, A. N., Shanthi Sravan, J., Chatterjee, S., Sarkar, O., & Mohan, S. V. (2018).	Food waste biorefinery: Sustainable strategy for circular bioeconomy	India	422
Ubando, A. T., Felix, C. B., & Chen, W. H. (2020).	Biorefineries in circular bioeconomy: A comprehensive review	Taiwan, Filipinas	393
Chandel, A. K., Garlapati, V. K., Singh, A. K., Antunes, F. A. F., da Silva, S. S. (2018).	The path forward for lignocellulose biorefineries: Bottlenecks, solutions, and perspective on commercialization	Brasil, India	330
Dyer, J. M., Stymne, S., Green, A. G., Carlsson, A. S. (2008).	High-value oils from plants	Estados Unidos, Suecia, Australia	328
Ciriminna, R., Lomeli-Rodriguez, M., Demma Carà, P., Lopez-Sanchez, J., Pagliaro, M. (2014).	Limonene: a versatile chemical of the bioeconomy	Reino Unido, Australia	307
Arevalo-Gallegos, A., Ahmad, Z., Asgher, M., Parra-Saldivar, R., & Iqbal, H. M. N. (2017).	Lignocellulose: A sustainable material to produce value-added products with a zero waste approach-A review	México, Pakistan	251
Yaashikaa, P. R., Kumar, P. S., Varjani, S., & Saravanan, A. (2020).	A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy	India	232
Hemsworth, G. R., Johnston, E. M., Davies, G. J., & Walton, P. H. (2015).	Lytic Polysaccharide Monooxygenases in Biomass Conversion	Reino Unido	211

Fuente: Scopus (Agosto 2023).

Clúster 5: Enfoque ecológico: bioplásticos

Los textos representativos de este cluster que fueron revisados, subrayan la importancia de la sustentabilidad dentro de la bioeconomía. Comprenden el impacto de la utilización de plásticos sobre el medio ambiente, y le adjudican un rol importante dentro de la transición hacia la bioeconomía a la aparición de bioplásticos. Los bioplásticos (normalmente plásticos fabricados a partir de polímeros de origen biológico) pueden contribuir a ciclos de vida del plástico comercial más sostenibles como parte de una economía circular, en la que los polímeros vírgenes se fabrican a partir de materias primas renovables o recicladas. Si se comparan con los plásticos de origen fósil, pueden tener una huella de carbono menor y exhiben propiedades de materiales ventajosas, pueden ser compatibles con los flujos de reciclaje existentes y algunos ofrecen biodegradación si se realizan en entornos controlados o predecibles.

Puyol et al. (2017) subrayan que las limitaciones en la disponibilidad de recursos están impulsando un cambio en los actuales sistemas de producción social, cambiando el enfoque del tratamiento de residuos, como el tratamiento de aguas residuales, hacia la recuperación de recursos. Se evalúan las ventajas y desafíos de los bioplásticos en la transición hacia una economía circular, y proponen un enfoque integral para calcular el desempeño de sostenibilidad de los plásticos de origen biológico a escala global, evalúan las ventajas y desafíos de los bioplásticos en la transición hacia una economía circular.

Particularmente, Spierling et al (2018) exponen que los plásticos de origen biológico muestran un mercado y una gama de aplicaciones en evolución y, por lo tanto, se han vuelto cada vez más populares en la investigación y la economía. La limitación de los recursos fósiles, así como los problemas ambientales relacionados, han llevado al desarrollo de una bioeconomía innovadora y también han desencadenado el cambio de los plásticos de origen fósil a los plásticos de origen biológico.

Tabla 12. Top 10 documentos con más citas dentro del clúster 5

Referencias	Título	País	Citas
D'Amato, D., Droste, N., Allen, B., Kettunen, M., Lähtinen, K., Korhonen, J., Leskinen, P., Matthies, B., Toppinen, A. (2017).	Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues	Finlandia, Reino Unido, Alemania	515
Mülhaupt, R. (2013).	Green Polymer Chemistry and Bio-based Plastics: Dreams and Reality	Alemania	476
Puyol, D., Batstone, D. J., Hülsen, T., Astals, S., Peces, M., & Krömer, J. O. (2017).	Resource Recovery from Wastewater by Biological Technologies: Opportunities, Challenges, and Prospects	Australia, España	344
Spierling, S., Knuepfer, E., Behnsen, H., Mudersbach, M., Krieg, H., Springer, S.K., Albrecht, S., Herrmann, C., & Endres, H. (2018).	Bio-based plastics - A review of environmental, social and economic impact assessments	Alemania	247
Rosenboom, J. G., Langer, R., & Traverso, G. (2022).	Bioplastics for a circular economy	Estados Unidos	233
Karan, H., Funk, C., Grabert, M., Oey, M., & Hankamer, B. (2019).	Green Bioplastics as Part of a Circular Bioeconomy	Australia, Suecia	229
Xiang, Q., Yiwei, R., Xingzu, W., (2017).	New advances in the biodegradation of Poly(lactic) acid	China	222
Guillard, V., Gaucel, S., Fornaciari, C., Angellier-Coussy, H., Buche, P., & Gontard, N. (2018).	The Next Generation of Sustainable Food Packaging to Preserve Our Environment in a Circular Economy Context	Francia, Italia	212
Duque-Acevedo, M., Belmonte-Ureña, L., Cortés-García, F., Camacho-Ferre, F. (2020).	Agricultural waste: Review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses	España, Chile	207
Prata, J. C., Silva, A. L. P., da Costa, J. P., Mouneyrac, C., Walker, T. R., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019).	Solutions and Integrated Strategies for the Control and Mitigation of Plastic and Microplastic Pollution	Portugal, Francia, Canada	206

Fuente: Scopus (Agosto 2023).

Clúster 6: Enfoque sustentable

Los trabajos representativos de este clúster contienen una discusión más general con una reflexión sobre la contribución de la bioeconomía a la sustentabilidad. Reconocen los desafíos actuales de sostenibilidad, seguridad alimentaria y cambio climático.

Ahondan en la utilización de tecnología, y dan cuenta de lagunas de conocimiento que obstaculizan su uso eficiente para abordar desafíos sociales y ambientales urgentes.

Argumentan que hace falta considerar los actores, conocimientos y practicas político-económicas involucradas en la creación y gestión de valor.

Particularmente, estudian los efectos de inclusión y exclusión de las tecnologías en la agricultura; los métodos de extracción y purificación de los polisacáridos de macroalgas laminaria y ficoidea; utilización de los desechos alimentarios, etc.

Por ejemplo, en el trabajo de Garcia-Vaquero et al (2017) analizan la aplicación de tecnologías de extracción innovadoras (como extracciones por ultrasonido, microondas y asistidas por enzimas), así como nuevas técnicas de purificación (es decir, separación por membrana), junto con los desafíos relacionados con la relación estructura-función de las moléculas y la variabilidad de las macroalgas.

Tabla 13. Top 10 documentos con más citas dentro del clúster 6

Referencias	Título	País	Citas
Bugge, M.M.; Hansen, T.; Klitkou, A. (2016).	What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature	Noruega	386
Parisi, C., Vigani, M., & Rodríguez-Cerezo, E. (2015).	Agricultural Nanotechnologies: What are the current possibilities?	España	386
Lawson, C. E., Harcombe, W. R., Hatzenpichler, R., Lindemann, S. R., Löffler, F. E., O'Malley, M. A., García Martín, H., Pflieger, B. F., Raskin, L., Venturelli, O. S., Weissbrodt, D. G., Noguera, D. R., & McMahan, K. D. (2019).	Common principles and best practices for engineering microbiomes	Estados Unidos	221
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?	Holanda, Estados Unidos	219
Birch K. (2017).	Rethinking Value in the Bio-economy: Finance, Assetization, and the Management of Value	Canada	209
Garcia-Vaquero, M., Rajauria, G., O'Doherty, J. V., & Sweeney, T. (2017).	Polysaccharides from macroalgae: Recent advances, innovative technologies and challenges in extraction and purification	Irlanda	203
Tian, D., Hu, J., Bao, J., et al. (2017).	Lignin valorization: lignin nanoparticles as high-value bio-additive for multifunctional nanocomposites	China, Canada	202
Raddadi, N., Cherif, A., Daffonchio, D., Neifar, M., & Fava, F. (2015).	Biotechnological applications of extremophiles, extremozymes and extremolytes	Italia, Tunisia, Arabia Saudita	161
Laca, A., Laca, A., Díaz, M. (2017).	Eggshell waste as catalyst: A review	España	154
Maroušek, J., Vochozka, M., Plachý, J., et al. (2017).	Glory and misery of biocharf	Republica Checa	148

Fuente: Scopus (Agosto 2023).

Tras revisar los documentos más citados dentro de cada clúster, podemos concluir que los clústeres identificados comparten las bases con los identificados por los trabajos mencionados en antecedentes de Bugge et al. (2016) y Vivien et al. (2019). Las tres visiones mencionadas en estos dos textos, tecnología, ecología y biorrecursos se ven presentes en los clústeres

identificados. Sin embargo, se aprecia una mayor diferenciación de los clústeres considerando los temas tratados por las diferentes perspectivas.

Por ejemplo, los clústeres 2, 3 y 4 estudian la bioeconomía y los biorrecursos. Distinguiendo varios enfoques dentro de el estudio de los biorrecursos: la producción de productos biológicos sostenibles; los residuos orgánicos, las biorrefinerías.

Los clústeres 5 y 6 tienen un enfoque ecológico, distinguiendo entre los trabajos que estudian los bioplásticos; y aquellos que cuestionan si la bioeconomía realmente contribuiría a construir un futuro más sostenible.

Además de confirmar las bases establecidas por trabajos previos, el análisis identifica patrones emergentes y tendencias dentro de la literatura sobre bioeconomía, avanzando en la comprensión y discusión de la bioeconomía.

7.3 Relación entre enfoque y regiones

A lo largo de este estudio, hemos encontrado múltiples desafíos al intentar explorar la relación entre los enfoques temáticos de la bioeconomía y los territorios geográficos. El principal desafío consistió en determinar la forma de recopilar y asociar la información sobre la región de origen de cada autor. Como se ha mencionado en secciones anteriores, cada documento que cuenta con más de un autor puede estar vinculado a múltiples países, complicando así la clasificación regional.

Para abordar este desafío, hemos trabajado con una base de datos que asocia palabras claves a clústeres temáticos. Y luego asociamos los documentos a dichos clústeres, utilizando las palabras clave. Por último, asociamos los documentos a países, basados en las afiliaciones de los autores extraídas de Scopus. La naturaleza de esta base de datos es tal que un solo documento puede aparecer múltiples veces; esto sucede cuando sus palabras clave se relacionan con diferentes clústeres y cuando los autores pertenecen a distintos países. Esta complejidad introduce un nivel significativo de ruido y dificulta la obtención de conclusiones claras y precisas.

De esta manera, la unidad de análisis principal es el clúster temático, y los datos: documento y región. Dado que cada documento puede pertenecer a más de un clúster si sus palabras clave

están asociadas con múltiples enfoques, un documento puede aparecer varias veces en el análisis, reflejando la diversidad de temas y regiones que representa.

Para intentar mitigar este problema y homogeneizar los resultados, para el análisis bivariado procedimos a reclasificar los países según regiones geográficas. Primero, cada documento se asoció a tantos países como autores tenga. Posteriormente, cada país fue categorizado dentro de una de las siguientes regiones: Asia, África, Australia, América del Norte, América del Sur y Europa.

En la tabla 14 se observa cuantos documentos tienen más de un clúster asociados. Podemos apreciar que 40.87% de los documentos están asociados solamente a un clúster. Siendo entonces la mayor parte de los documentos se asocia a más de un clúster. Dado que los clústeres comparten las bases, es esperable que la mayoría de los trabajos estén asociados a uno, dos o tres clústeres.

Tabla 14. Documentos y clústeres asociados

Número de clústers	Documentos	%
1	1794	40,87%
2	1008	22,97%
3	699	15,93%
4	416	9,48%
5	205	4,67%
6	77	1,75%

Fuente: Scopus (Agosto 2023).

En la tabla 15 se observa que el 87.29% de los documentos están asociados a la misma región, 11.12% a dos regiones, y el 1.59% a más de dos regiones.

Tabla 15. Documentos y regiones asociadas

	Documentos	%
Una región	3831	87,29%
Dos regiones	488	11,12%
Más de dos regiones	70	1,59%

Fuente: Scopus (Agosto 2023).

Para analizar la relación entre estas variables, en primera instancia se presentará una tabla descriptiva; y luego análisis bivariado para identificar si existe asociación entre ambas

variables. El análisis se dirige simplemente a señalar la posible existencia de una relación de las variables, de modo de sugerir futuros trabajos que exploren dicha relación en profundidad.

En la tabla 16, presentamos un resumen de los países que aparecen con mayor frecuencia para cada clúster. Entendemos que la frecuencia puede no ser un parámetro de medida correcta, dado que la misma está compuesta por palabras, y cantidad de autores que cada documento tiene.

Tabla 16. Resumen de países con más frecuencia por clúster

Cluster	País	Freq	Cluster	País	Freq	Cluster	País	Freq
1	Estados Unidos	2131	2	Alemania	1475	3	India	861
1	Alemania	1434	2	Estados Unidos	1215	3	Italia	607
1	Brasil	906	2	Italia	1035	3	Alemania	556
1	China	662	2	Finlandia	877	3	España	533
1	Reino Unido	499	2	India	689	3	Bélgica	443
1	Bélgica	486	2	Holanda	644	3	Brasil	382
1	India	440	2	Suecia	643	3	Estados Unidos	373
1	España	362	2	Brasil	642	3	China	311
1	Italia	360	2	España	640	3	Suecia	311
1	Suecia	352	2	Canada	552	3	Reino Unido	288
Cluster	País	Freq	Cluster	País	Freq	Cluster	País	Freq
4	India	894	5	Italia	545	6	Estados Unidos	710
4	Estados Unidos	821	5	España	418	6	Italia	336
4	Alemania	755	5	Alemania	325	6	España	319
4	Brasil	715	5	China	285	6	Alemania	314
4	China	547	5	Estados Unidos	263	6	Reino Unido	258
4	Italia	466	5	Reino Unido	244	6	Portugal	213
4	España	385	5	India	236	6	Francia	211
4	Reino Unido	298	5	Suecia	179	6	Brasil	200
4	Canada	259	5	Holanda	161	6	Holanda	186
4	Holanda	254	5	Finlandia	133	6	India	149

Fuente: Scopus (Agosto 2023).

Para estudiar más profundamente la relación existente entre estas dos variables, se realizó un análisis simple de la asociación de ambas variables. Solo se tomaron en cuenta los artículos que estaban asignados exclusivamente a una región. Los artículos que estaban asignados a más de una región se eliminaron del análisis. De los 3603¹⁰ artículos de la base de datos, 3045 están asociados a una sola región (84,51%).

Se llevaron a cabo dos ejercicios: uno incluyendo todas las regiones y otro excluyendo aquellas con una cantidad menor de artículos (América del Sur, África y Australia). A efectos prácticos

¹⁰ La base de datos contenía 4,398 documentos, 786 de los cuales fueron descaartados dado que no tenían datos para palabras claves.

se presenta una tabla bivariada (Tabla 17) que omite las regiones con un número reducido de artículos. Los resultados con la base de datos completa, que no difieren significativamente, se presentan en los anexos.

El análisis bivariado realizado examina la relación entre dos variables (la región y el cluster), sin controlar por otras variables que podrían influir en los resultados. La tabla 18 muestra la distribución porcentual de los artículos en diferentes clusters para cada una de las tres regiones.

Se observa una relación entre las principales regiones (Europa, Asia, América del Norte) y los clusters en los que se clasifican las contribuciones de los autores provenientes de esas regiones. Ciertos enfoques parecerían ser más comunes en algunas regiones que en otras. Por ejemplo, el 63,36% de los artículos del clúster 1 están asociados a Europa, mientras que el 23,91% a América del Norte, y el 14,73% a Asia.

Las celdas coloreadas en la tabla resaltan aquellas que presentan una mayor diferencia con la frecuencia esperada en caso de independencia entre las variables. Por ejemplo, para los clusters 2, 5, y 6, los porcentajes asociados a Europa son mayores que la frecuencia esperada basada en su distribución marginal (69,14%). En el caso del cluster 1, América del Norte tiene un porcentaje (23,91%) que se desvía considerablemente de lo que se esperaría si no hubiera una asociación con la región. Por otro lado, en los clusters 3 y 4, Asia presenta una asociación por encima de lo esperado (15,61%).

Estos resultados van en concordancia con los presentados en la tabla descriptiva, el país con más frecuencia de cada clúster pertenece a la región que presenta mayor asociación en la tabla bivariada.

El análisis revela que existe una asociación significativa entre la región de origen de los artículos y los clusters temáticos en los que se clasifican. Esta asociación se evidencia en las desviaciones de las frecuencias observadas con respecto a las frecuencias esperadas bajo la hipótesis de independencia. Este patrón sugiere que las regiones contribuyen de manera desigual a diferentes temas.

Tabla 17. Tabla bivariada: región según clúster de palabras en porcentaje

Cluster	Europa	Asia	América del Norte	Total
1	61,36	14,73	23,91	100
2	76,81	10	13,19	100
3	68,82	22,13	9,05	100
4	59,11	24,94	15,94	100
5	75,29	15,88	8,83	100
6	71,72	10,23	18,05	100
Total	69,14	15,61	15,25	100

Pearson $\chi^2(10) = 373.0542$ Pr = 0.000

Likelihood-ratio $\chi^2(10) = 365.3028$ Pr = 0.000

Fuente: Scopus (Agosto 2023).

Si bien parecería existir una asociación significativa entre enfoque y región, reconocemos la naturaleza multidimensional de los datos y sus limitaciones. Algunas de estas limitaciones son: *Ruido en los datos:* La duplicación de documentos a través de diferentes clústeres y regiones introduce redundancia y sesgo, lo que dificulta una interpretación clara de los resultados.

Superposición temática: Muchos documentos pertenecen a múltiples clústeres temáticos, lo que complica la identificación de patrones claros y robustos.

Heterogeneidad de la afiliación: Los autores con afiliaciones a múltiples países añaden un nivel adicional de complejidad, ya que un solo documento puede contribuir a varias categorías de análisis.

Además, la interconexión entre autores, con colaboraciones que se extienden a través de diferentes partes del mundo, puede dificultar la identificación de relaciones claras entre el enfoque y el territorio. Esta dificultad puede deberse a la influencia común de las redes de colaboración o al hecho de que las mismas perspectivas se desarrollan en diferentes regiones.

En conjunto, estos factores destacan la complejidad inherente al estudio de la relación entre los enfoques y el territorio. Es esencial considerar estas limitaciones al interpretar los resultados presentados.

8. Conclusiones

La revisión de los documentos más citados en cada clúster, proporciona una comprensión de los enfoques en la bioeconomía y su relación con las visiones de la bioeconomía presentadas por Bugge et al. (2016) y Vivien et al. (2019). Las tres perspectivas mencionadas en estas revisiones: tecnología, ecología y biorrecursos, se reflejan de manera consistente en los clústeres identificados. Sin embargo, al incorporar un análisis cuantitativo de las similitudes entre los artículos (a través de las palabras claves que los describen) surge un panorama más detallado, que permite identificar, en distintos enfoques, algunas diferencias o heterogeneidades.

El primer clúster destaca la transición hacia la bioeconomía a través de la biotecnología, alineándose con la visión centrada en la tecnología. Los clústeres 2, 3 y 4 resaltan la importancia de los biorrecursos para esta transición, centrándose en su utilización sostenible, el manejo de residuos orgánicos y el papel de las biorrefinerías, respectivamente.

Los clústeres 5 y 6 muestran una alineación con un enfoque basado en la ecología, priorizando la sustentabilidad. El quinto clúster aborda el impacto ambiental de los plásticos y la búsqueda de alternativas sostenibles como los bioplásticos. El sexto clúster se enfoca en el uso de tecnologías para alcanzar la bioeconomía y su contribución a construir un futuro sostenible.

Un primer análisis de carácter exploratorio indica que existe una asociación significativa entre la región de origen de los artículos y los clústeres temáticos en los que se clasifican. Esta asociación se evidencia en las desviaciones de las frecuencias observadas con respecto a las frecuencias esperadas bajo la hipótesis de independencia. Este patrón sugiere que las regiones contribuyen de manera desigual a diferentes temas. Por ejemplo, en los clústeres 2, 5 y 6 (Enfoque biológico, ecológico y sustentable) los porcentajes asociados a Europa superan las frecuencias esperadas según su distribución marginal. En el clúster 1 (Enfoque biotecnológico), América del Norte muestra un porcentaje que se desvía considerablemente de lo esperado en ausencia de asociación regional. Asimismo, en los clústeres 3 y 4 (Enfoque circular y basado en biorrefinerías), Asia presenta una asociación superior a lo esperado.

Las regiones geográficas parecen especializarse en ciertos aspectos de la bioeconomía, lo que sugiere que factores como las políticas regionales, los recursos naturales disponibles, las capacidades tecnológicas y las prioridades económicas influyen en los temas de investigación

predominantes en cada área. En particular, Europa parece centrarse más en enfoques biológicos, ecológicos y sustentables, lo que puede estar relacionado con su fuerte énfasis en la sostenibilidad y la transición hacia una economía circular. América del Norte, por su parte, muestra una mayor inclinación hacia el enfoque biotecnológico, posiblemente reflejando su liderazgo en tecnología y desarrollo industrial. Asia destaca en los enfoques circulares y basados en biorrefinerías, lo que podría estar relacionado con sus esfuerzos para integrar prácticas sostenibles en su rápido crecimiento industrial.

Respecto de la relación de los enfoques con regiones, el presente trabajo pretende ser una primera aproximación a su estudio, reconociendo las limitaciones existentes en los datos y análisis realizados.

Se trabajó con los datos de modo de obtener mayor información para incluir en el análisis, sin embargo la naturaleza de los datos dificultó la obtención de variables adicionales para incluir en los modelos. Por ejemplo, se consideró realizar un análisis basado en el género del autor. Dado que tales datos no estaban disponibles, se exploró la posibilidad de extraer el género mediante un algoritmo, como se hace en el artículo "What's in a name? – gender classification of names with character based machine learning models" (Hu et al., 2020), pero la complejidad de este análisis excedía el presente trabajo.

Queda pendiente para futuras investigaciones la posibilidad de analizar el género. De hecho, ya existe cierta literatura que relaciona bioeconomía y género. Por ejemplo, en el estudio realizado por Sanz-Hernández et al. (2022), realizan una revisión sistemática de la literatura existente sobre la conexión entre el género (como una dimensión social) y la bioeconomía. Este tipo de investigaciones resalta la importancia de incluir una perspectiva de género para comprender completamente la dinámica de la bioeconomía y su desarrollo en diferentes regiones.

En resumen, este estudio ha contribuido a delinear los contornos de la investigación en bioeconomía, resaltando la convergencia temática y la globalización de los enfoques. Estos hallazgos abren nuevas vías para futuras investigaciones, que podrán explorar con mayor profundidad las conexiones entre territorio, género y otras variables socioeconómicas, con el fin de desarrollar una visión más holística y enriquecedora de la bioeconomía en el contexto global.

10. Referencias

Abramovay, R., Ferreira, J., & others (2021). The new bioeconomy in the Amazon - Opportunities and challenges for a healthy standing forest and flowing rivers. In C. Nobre, A. Encalada, et al. (Eds.), Amazon Assessment Report 2021 (Chapter 30). United Nations Sustainable Development Solutions Network.

Aramendis, R. H., Rodríguez, A. G., & Krieger Merico, L. F. (2018). *Contribuciones a un gran impulso ambiental en América Latina y el Caribe: Bioeconomía*.

Arevalo-Gallegos, A., Ahmad, Z., Asgher, M., Parra-Saldivar, R., & Iqbal, H. M. N. (2017). *Lignocellulose: A sustainable material to produce value-added products with a zero waste approach-A review*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 99, 308–318. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.02.097>

Aria, M. & Cuccurullo, C. (2017) *Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis*, *Journal of Informetrics*, 11(4), pp 959-975, Elsevier.

Becker, J., & Wittmann, C. (2015). *ChemInform: Advanced biotechnology: Metabolically engineered cells for the bio-based production of chemicals and fuels, materials, and health-care products*. *Angewandte Chemie International Edition*, 46. <https://doi.org/10.1002/anie.201409033>

Biancolillo, I., Paletto, A., Bersier, J., Keller, M., & Romagnoli, M. (2020). *A literature review on forest bioeconomy with a bibliometric network analysis*. *Journal of Forestry Science*, 66, 265–279.

Birch, K. (2017). *Rethinking Value in the Bio-economy: Finance, Assetization, and the Management of Value*. *Science, Technology & Human Values*, 42(3), 460–490. <https://doi.org/10.1177/0162243916661633>

Blondel, V. D., Guillaume, J.-L., Lambiotte, R., & Lefebvre, E. (2008). *Fast unfolding of communities in large networks*. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008(10), P10008.

Borg, I., & Groenen, P. J. F. (2005). *Modern Multidimensional Scaling (2nd ed.)*. Berlin: Springer.

Brodin, M., Vallejos, M., Opedal, M., Area, M., & Chinga, G. (2017). *Lignocellulosics as sustainable resources for production of bioplastics – A review*. *Journal of Cleaner Production*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.209>

Brundtland, G. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. United Nations General Assembly Document A/42/427.

Bugge, M. M., Hansen, T., & Klitkou, A. (2016). *What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature*. *Sustainability*, 8, 691.

Callon, M., Courtial, J. P., & Laville, F. (1991). *Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemistry*. *Scientometrics*, 22, 155–205.

Callon, M., Courtial, J.-P., Turner, W. A., & Bauin, S. (1983). *From translations to problematic networks: An introduction to co-word analysis*.

Chandel, A. K., Garlapati, V. K., Singh, A. K., Antunes, F. A. F., & da Silva, S. S. (2018). *The path forward for lignocellulose biorefineries: Bottlenecks, solutions, and perspective on commercialization*. *Bioresource Technology*, 264, 370–381.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.004>

Chen, C. (2006). *CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature*. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57(3), 359-377.

Ciriminna, R., Lomeli-Rodriguez, M., Demma Carà, P., Lopez-Sanchez, J., & Pagliaro, M. (2014). *Limonene: a versatile chemical of the bioeconomy*. *Chemical Communications*, 50(97). <https://doi.org/10.1039/c4cc06147k>

Coulter, N., Monarch, I., & Konda, S. (1998). *Software engineering as seen through its research literature: A study in co-word analysis*. *Journal of the American Society for Information Science*, 49(13), 1206–1223.

D'Amato, D., Droste, N., Allen, B., Kettunen, B., Lähtinen, K., Korhonen, J., Leskinen, P., Matthies, B. D., & Toppinen, A. (2017). *Green, circular, bioeconomy: A comparative analysis of sustainability avenues*. *Journal of Cleaner Production*, 168, 716–734.

Dahiya, S., Kumar, A. N., Shanthi Sravan, J., Chatterjee, S., Sarkar, O., & Mohan, S. V. (2018). *Food waste biorefinery: Sustainable strategy for circular bioeconomy*. *Bioresource Technology*, 248(Pt A), 2–12. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.176>

D'Amato, D., Droste, N., Allen, B., Kettunen, M., Lähtinen, K., Korhonen, J., Leskinen, P., Matthies, B., & Toppinen, A. (2017). *Green, Circular, Bioeconomy: A Comparative Analysis of Sustainability Concepts*. *Journal of Cleaner Production*, 168.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.053>

De Vrieze, J., Saunders, A. M., He, Y., Fang, J., Nielsen, P. H., Verstraete, W., & Boon, N. (2015). *Ammonia and temperature determine potential clustering in the anaerobic*

digestion microbiome. Water Research, 75, 312–323.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.025>

Deciancio, M., Siegel, K., Kefeli, D., Queiroz Stein, G., & Dietz, T. (2022). *Bioeconomy governance and (sustainable) development. Handbook on the Politics of Development.*

Dieken, S., Dallendörfer, M., Henseleita, M., Siekmanna, F., & Venghaus, S. (Year). *The multitudes of bioeconomies: A systematic review of stakeholders' bioeconomy perceptions.*

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), 3190.*

Dos Santos Fernandes De Araujo, R., Vazquez Calderon, F., Sanchez Lopez, J., Azevedo, I., Bruhn, A., Fluch, S., Garcia Tasende, M., Ghaderiardakani, F., Ilmjarv, T., Laurans, M., Mac Monagail, M., Mangini, S., Peteiro, C., Rebours, C., Stefansson, T., & Ullmann, J. (2021). *Current status of the algae production industry in Europe: an emerging sector of the Blue Bioeconomy. Frontiers in Marine Science, 7, 626389.*

<https://doi.org/10.3389/fmars.2020.626389>

Duque-Acevedo, M., Belmonte-Ureña, L., Cortés-García, F., & Camacho-Ferre, F. (2020). *Agricultural waste: Review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses. Global Ecology and Conservation, 22, e00902.*

<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00902>

Dyer, J. M., Stymne, S., Green, A. G., & Carlsson, A. S. (2008). *High-value oils from plants. The Plant Journal: For Cell and Molecular Biology, 54(4), 640–655.*

<https://doi.org/10.1111/j.1365-3113X.2008.03430.x>

FitzPatrick, M., Champagne, P., Cunningham, M., & Whitney, R. (2010). *A biorefinery processing perspective: Treatment of lignocellulosic materials for the production of value-added products. Bioresource Technology, 101(23), 8915–8922.*

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.125>

Fortunato, S. (2010). *Community detection in graphs. Physics Reports, 486(3–5), 75–174.* <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2009.11.002>

Fritsche, U., Brunori, G., Chiamonti, D., Galanakis, C., Hellweg, S., Matthews, R., & Panoutsou, C. (2020). *Future transitions for the Bioeconomy towards Sustainable Development and a Climate-Neutral Economy - Knowledge Synthesis Final Report.* Publications Office of the European Union, Luxembourg.

- Garcia-Vaquero, M., Rajauria, G., O'Doherty, J. V., & Sweeney, T. (2017). *Polysaccharides from macroalgae: Recent advances, innovative technologies and challenges in extraction and purification. Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 99(Pt 3), 1011–1020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.11.016>
- Garud, R., & Gehman, J. (2012). *Metatheoretical perspectives on sustainability journeys: evolutionary, relational and durational. Research Policy*, 41, 980–995.
- Georgescu-Roegen, N. (1975). *Energía y mitos económicos. El Trimestre Económico*, 42(168), 779-836.
- Glanzel, W., & Schoepflin, U. (1999). *A bibliometric study of reference literature in the sciences and social sciences. Information Processing & Management*, 35(1), 31-44.
- Gottinger, A., Ladu, L., & Quitzow, R. (2020). *Studying the transition towards a circular bioeconomy—A systematic literature review on transition studies and existing barriers. Sustainability*, 12(21), 8990. <https://doi.org/10.3390/su12218990>.
- Guillard, V., Gaucel, S., Fornaciari, C., Angellier-Coussy, H., Buche, P., & Gontard, N. (2018). *The Next Generation of Sustainable Food Packaging to Preserve Our Environment in a Circular Economy Context. Frontiers in Nutrition*, 5, 121. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00121>
- Gustav Vaaje-Kolstad et al. (Please provide complete information for proper citation.)
- Hansen, A., Zhang, Q., & Lyne, P. (2005). *Ethanol–diesel fuel blends – a review. Bioresource Technology*, 96(3), 277-285. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.04.007>
- Haveren, J. V., Scott, E. L., & Sanders, J. P. (2008). *Bulk chemicals from biomass. Biofuels*, 2. <https://doi.org/10.1002/bbb.43>
- Hemsworth, G. R., Johnston, E. M., Davies, G. J., & Walton, P. H. (2015). *Lytic Polysaccharide Monoxygenases in Biomass Conversion. Trends in Biotechnology*, 33(12), 747–761. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.09.006>
- Horn, S. J., Vaaje-Kolstad, G., Westereng, B., & Eijsink, V. G. (2012). *Novel enzymes for the degradation of cellulose. Biotechnology for Biofuels*, 5(1), 45. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-5-45>
- Hu, Y., Hu, ., Tran, T., Kasturi, T., Joseph, E., & Gillingham, M. (2021). *What's in a name? – gender classification of names with character based machine learning models. Data Mining and Knowledge Discovery*. 35. 10.1007/s10618-021-00748-6.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2018). *Global Warming of 1.5°C*.

Kapoor, R., Ghosh, P., Kumar, M., Sengupta, S., Gupta, A., Kumar, S. S., Vijay, V., Kumar Vijay, V., & Pant, D. (2020). *Valorization of agricultural waste for biogas based circular economy in India: A research outlook*. *Bioresource Technology*, 304, 123036. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123036>

Karan, H., Funk, C., Grabert, M., Oey, M., & Hankamer, B. (2019). *Green Bioplastics as Part of a Circular Bioeconomy*. *Trends in Plant Science*, 24(3), 237–249. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.010>

Kind, S., & Wittmann, C. (2011). *Bio-based production of the platform chemical 1,5-diaminopentane*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 91, 1287–1296. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3457-2>

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*. 100347. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>

Konstantinis, Alvertos & Rozakis, Stelios. (2018). *A Definition of Bioeconomy through the Bibliometric Networks of the Scientific Literature*. *AgBioForum*, 21(2): 64-85. ©2018 AgBioForum

Kontturi, E., Laaksonen, P., Linder, M., Nonappa., Gröschel, A., & Rojas, O. (2018). *Advanced Materials through Assembly of Nanocelluloses*. *Advanced Materials*, 30(24), e1703779. <https://doi.org/10.1002/adma.201703779>

Koutinas, A., Vlysidis, A., Pleissner, D., Kopsahelis, N., Lopez Garcia, I., Kookos, I., Papanikolaou, S., Kwan, T., & Lin, C. (2014). *Valorization of industrial waste and by-product streams via fermentation for the production of chemicals and biopolymers*. *Chemical Society Reviews*, 43.

Laca, A., Laca, A., & Díaz, M. (2017). *Eggshell waste as catalyst: A review*. *Journal of Environmental Management*, 197, 351-359. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.088>

Lancichinetti, A., & Fortunato, S. (2009). *Community detection algorithms: A comparative analysis*. *Physical Review E*, 80(5), 056117.

Laurens, L., Markham, J., Templeton, D., Christensen, E., Wychen, S., Vadelius, E., Chen-Glasser, M., Dong, T., Davis, R., & Pienkos, P. (2017). *Development of Algae Biorefinery Concepts for Biofuels and Bioproducts; a Perspective on Process-compatible Products and Their Impact on Cost-Reduction*. *Energy Environ. Sci.*, 10. <https://doi.org/10.1039/C7EE01306J>

Lawson, C. E., Harcombe, W. R., Hatzenpichler, R., Lindemann, S. R., Löffler, F. E., O'Malley, M. A., García Martín, H., Pfleger, B. F., Raskin, L., Venturelli, O. S., Weissbrodt,

D. G., Noguera, D. R., & McMahon, K. D. (2019). *Common principles and best practices for engineering microbiomes*. *Nature Reviews. Microbiology*, 17(12), 725–741.

<https://doi.org/10.1038/s41579-019-0255-9>

Leydesdorff, L., & Vaughan, L. (2006). *Co-occurrence matrices and their applications in information science: Extending ACA to the web environment*. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57(12), 1616-1628.

Loiseau, E., Saikku, L., Antikainen, R., Droste, N., Hansjürgens, B., Pitkänen, K., Leskinen, P., Kuikman, P., & Thomsen, M. (2016). *Green economy and related concepts: An overview*. *Journal of Cleaner Production*, 139, 361-371.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.024>

Mak, T. M. W., Xiong, X., Tsang, D. C. W., Yu, I. K. M., & Poon, C. S. (2020). *Sustainable food waste management towards circular bioeconomy: Policy review, limitations and opportunities*. *Bioresource Technology*, 297, 122497.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122497>

Mansfield, S., Kim, H., Lu, F., & Ralph, J. (2012). *Whole plant cell wall characterization using solution-state 2D NMR*. *Nature Protocols*, 7, 1579–1589.

<https://doi.org/10.1038/nprot.2012.064>

Markard, J., Raven, R., & Truffer, B. (2012). *Sustainability transitions: an emerging field of research and its prospects*. *Research Policy*, 41, 980–995.

Maroušek, J., Vochozka, M., Plachý, J., et al. (2017). *Glory and misery of biochar*. *Clean Techn Environ Policy*, 19, 311–317. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1284-y>

McCormick, K., & Kautto, N. (2013). *The Bioeconomy in Europe: An Overview*. *Sustainability*, 5(6), 2589–2608. <https://doi.org/10.3390/su5062589>

Mirambell, M.R. (2023), *clustAnalytics: Cluster Evaluation on Graphs, R package version 0.5.4*, <https://CRAN.R-project.org/package=clustAnalytics>.

Mülhaupt, R. (2013). *Green Polymer Chemistry and Bio-based Plastics: Dreams and Reality*. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 214, 159-174.

<https://doi.org/10.1002/macp.201200439>

Müller, M., Kügler, J., Henkel, M., Gerlitzki, M., Hörmann, B., Pöhnlein, M., Syldatk, C., & Hausmann, R. (2012). *Rhamnolipids—Next generation surfactants?* *Journal of Biotechnology*, 162(4), 366-380. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2012.05.022>

Naciones Unidas. (2022). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2022*. Naciones Unidas. https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2022_Spanish.pdf

Nagarajan, D., Lee, D. J., Chen, C. Y., & Chang, J. S. (2020). *Resource recovery from wastewaters using microalgae-based approaches: A circular bioeconomy perspective*. *Bioresource Technology*, 302, 122817.

OECD. (2009). *The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda*. Organisation for Economic Co-operation and Development.

Olivo, M., & Lakner, Z. (2023). *Shaping the Knowledge Base of Bioeconomy Sectors Development in Latin American and Caribbean Countries: A Bibliometric Analysis*. *Sustainability*, 15, 5158. <https://doi.org/10.3390/su15065158>.

Oxfam International. (2020). *Confronting Carbon Inequality: Putting Climate Justice at the Heart of the COVID-19 Recovery*.

Papadopoulou, C-I., Loizou, E., Melfou, K., & Chatzitheodoridis, F. (2021). *The Knowledge-Based Agricultural Bioeconomy: A Bibliometric Network Analysis*. *Energies*, 14(20), 682.

Parisi, C., Vigani, M., & Rodríguez-Cerezo, E. (2015). *Agricultural Nanotechnologies: What are the current possibilities?* *Nano Today*, 10(2), 124–127. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2014.09.009>.

Patrício Silva, A. L., Prata, J. C., Walker, T. R., Duarte, A. C., Ouyang, W., Barcelò, D., & Rocha-Santos, T. (2021). *Increased plastic pollution due to COVID-19 pandemic: Challenges and recommendations*. *Chemical Engineering Journal*, 405, 126683. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126683>.

Peters, H. P. F., & Van Raan, A. F. J. (1993). *Co-word-based science maps of chemical engineering. Part I: Representations by direct multidimensional scaling*. *Research Policy*, 22(1), 23–45.

Pfau, S., Hagens, J., Dankbaar, B., & Smits, A. (2014). *Visions of Sustainability in Bioeconomy Research*. *Sustainability*, 6(3), 1222–1249. <https://doi.org/10.3390/su6031222>.

Piplani, M., & Smith-Hall, C. (2021). *Towards a Global Framework for Analysing the Forest-Based Bioeconomy*. *Forests*, 12(12), 1673.

Poblete-Castro, I., Becker, J., Dohnt, K., Martins, V., Wittmann, C. (2012). *Industrial biotechnology of Pseudomonas putida and related species*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 93, 2279–2290. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-3928-0>.

Prata, J. C., Silva, A. L. P., da Costa, J. P., Mouneyrac, C., Walker, T. R., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). *Solutions and Integrated Strategies for the Control and*

Mitigation of Plastic and Microplastic Pollution. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(13), 2411. <https://doi.org/10.3390/ijerph16132411>.

Priefer, C., Jörissen, J., & Frör, O. (2017). *Pathways to shape the bioeconomy. Resources*, 6(1), 10.

Puyol, D., Batstone, D. J., Hülsen, T., Astals, S., Peces, M., & Krömer, J. O. (2017). *Resource Recovery from Wastewater by Biological Technologies: Opportunities, Challenges, and Prospects. Frontiers in Microbiology*, 7, 2106. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02106>.

Pyka, A., Ari, E., Alva-Ferrari, A., & Urmetzer, S. (2022). *The Bioeconomy Transition Process: Sailing through Storms and Doldrums in Unknown Waters. Journal of Innovation Economics & Management*, 38, 35.

Raddadi, N., Cherif, A., Daffonchio, D., Neifar, M., & Fava, F. (2015). *Biotechnological applications of extremophiles, extremozymes and extremolytes. Applied microbiology and biotechnology*, 99(19), 7907–7913. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6874-9>

Renedo-Mirambell & Arratia, *ClustAnalytics: An R Package for Assessing Stability and Significance of Communities in Networks*, The R Journal, 2023

Rip, A., & Courtial, J.-P. (1984). *Co-word maps of biotechnology: An example of cognitive scientometrics. Scientometrics*, 6(6), 381–400.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., ... & Nykvist, B. (2009). *A safe operating space for humanity. Nature*, 461(7263), 472-475.

Rodríguez, AG; Mondaini, AO; Hitschfeld, MA. (2017). *Bioeconomía en América Latina y el Caribe: contexto global y regional y perspectivas. CEPAL, NU* (ed.). Naciones Unidas, Santiago. 96

Rol, F., Belgacem, M., Gandini, A., Bras, J. (2019). *Recent advances in surface-modified cellulose nanofibrils, Progress in Polymer Science*, Volume 88, Pages 241-264, ISSN 0079-6700, <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2018.09.002>.

Rosenboom, J. G., Langer, R., & Traverso, G. (2022). *Bioplastics for a circular economy. Nature reviews. Materials*, 7(2), 117–137. <https://doi.org/10.1038/s41578-021-00407-8>

Ruiz, H., Conrad, M., Sun, S., Sanchez, A., Rocha, G., Romaní, A., Castro, E., Torres, A., Rodríguez-Jasso, R., Andrade, L., Smirnova, I., Sun, R., & Meyer, A. (2020). *Engineering aspects of hydrothermal pretreatment: From batch to continuous operation*,

scale-up and pilot reactor under biorefinery concept, *Bioresource Technology*, Volume 299, 122685, ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122685>.

Sachs, J. D., Schmidt-Traub, G., Mazzucato, M., Messner, D., Nakicenovic, N., & Rockström, J. (2019). *Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals*. *Nature Sustainability*, 2(9), 805-814. doi: 10.1038/s41893-019-0360-5.

Sanz-Hernández, A., Jiménez-Caballero, P., & Zarauz, I. (2022). *Gender and women in scientific literature on bioeconomy: A systematic review*. *Forest Policy and Economics*, 141, 102762. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102762>

Sawatdeenarunat, C., Nguyen, D., Surendra, K. C., Shrestha, S., Rajendran, K., Oechsner, H., Xie, L., & Khanal, S. K. (2016). *Anaerobic biorefinery: Current status, challenges, and opportunities*. *Bioresource technology*, 215, 304–313. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.074>

Scarlat, N., Dallemand, J., Monforti-Ferrario, F., Nita, V. (2015). *The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts*, *Environmental Development*, Volume 15, Pages 3-34, ISSN 2211-4645, <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.03.006>.

Sheldon, R. A. (2018). *Metrics of Green Chemistry and Sustainability: Past, Present, and Future*. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 6(1), 32-48. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b03505>

Sherwood J. (2020). *The significance of biomass in a circular economy*. *Bioresource technology*, 300, 122755. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122755>

Siegel K., Deciancio M., Kefeli D., Queiroz-Stein G. & Dietz T. (2022), *Fostering Transitions Towards Sustainability? The Politics of Bioeconomy Development in Argentina, Uruguay, and Brazil*, *Bulletin of Latin American Research* published by John Wiley & Sons Ltd on behalf of Society for Latin American Studies, 1-16.

Spierling, S., Knuepffer, E., Behnsen, H., Mudersbach, M., Krieg, H., Springer, S.K., Albrecht, S., Herrmann, C., & Endres, H. (2018). *Bio-based plastics - A review of environmental, social and economic impact assessments*. *Journal of Cleaner Production*.

Staffas, L., Gustavsson, M., & McCormick, K. (2013). *Strategies and Policies for the Bioeconomy and Bio-Based Economy: An Analysis of Official National Approaches*. *Sustainability*, 5(6), 2751–2769. <https://doi.org/10.3390/su5062751>

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... & Folke, C. (2015). *Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet*. *Science*, 347(6223), 1259855. doi: 10.1126/science.1259855

Stegmann, P., Londo, M., & Junginger, M. (2020). *The circular bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters. Resources, Conservation & Recycling*; X, 6, 100029. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2019.100029>.

Stern, N. (2007). *The economics of climate change: The Stern review*. Cambridge University Press.

Swilling, M. (2019). *The age of sustainability: Just transitions in a complex world*. Taylor and Francis.

The World Bank. (2020). *From Pandemic to Poverty: A Framework for an Equitable Recovery*.

Tian, D., Hu, J., Bao, J., et al. (2017). *Lignin valorization: lignin nanoparticles as high-value bio-additive for multifunctional nanocomposites. Biotechnology for Biofuels*, 10, 192. <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0876-z>

Trigo, E., Chavarria, H., Smyth, S. J., Torroba, A., Wesseler, J., Zilberman, D., & Martinez, J. (2021). *The Bioeconomy and Food Systems Transformation, United Nations Food System Summit, Brief by Partners of Scientific Group*.

Trigo, E. J., Henry, G., Sanders, J., Schurr, U., Ingelbrecht, I., Revel, C., Santana, C., & Rocha, P. (2013). *Towards bioeconomy development in Latin America and the Caribbean Bioeconomy Working Paper 2013*.

Ubando, A. T., Felix, C. B., & Chen, W. H. (2020). *Biorefineries in circular bioeconomy: A comprehensive review. Bioresource Technology*, 299, 122585. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122585>

United Nations Environment Programme. (2019). *Global Environment Outlook 6: Healthy Planet, Healthy People*.

Vaaje-Kolstad, G., Westereng, B., Horn, S., Liu, Z., Zhai, H., Sørli, M., & Eijsink, V. (2010). *An oxidative enzyme boosting the enzymatic conversion of recalcitrant polysaccharides. Science (New York, N.Y.)*, 330, 219–222. <https://doi.org/10.1126/science.1192231>

Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2007). *Bibliometric mapping of the computational intelligence field. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 15(5), 625–645.

Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2009). *How to normalize cooccurrence data? An analysis of some well-known similarity measures. Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60(8), 1635–1651.

Van Eck, N. J., Waltman, L., Van den Berg, J., & Kaymak, U. (2006). *Visualizing the computational intelligence field*. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 1(4), 6–10.

Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2009). *Vosviewer: A computer program for bibliometric mapping*. ERIM Report Series Reference No. ERS-2009-005-LIS.

Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). *Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping*. *Scientometrics*, 84(2), 523-538.

Venkata Mohan, S., Nikhil, G. N., Chiranjeevi, P., Nagendranatha Reddy, C., Rohit, M. V., Kumar, A. N., & Sarkar, O. (2016). *Waste biorefinery models towards sustainable circular bioeconomy: Critical review and future perspectives*. *Bioresource technology*, 215, 2–12. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.130>

Vivien, F.-D., Nieddu, M., Befort, N., Debref, R., & Giampietro, M. (2019). *The hijacking of the bioeconomy*. *Ecological Economics*, 159, 189–197.

Wainaina, S., Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Chen, H., Singh, E., Kumar, A., Ravindran, B., Awasthi, S. K., Liu, T., Duan, Y., Kumar, S., Zhang, Z., & Taherzadeh, M. J. (2020). *Resource recovery and circular economy from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies*. *Bioresource technology*, 301, 122778. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122778>

Xiang, Q., Yiwei, R., & Xingzu, W. (2017). *New advances in the biodegradation of Poly(lactic) acid*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 117, 215–223. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.01.010>

Yaashikaa, P. R., Kumar, P. S., Varjani, S., & Saravanan, A. (2020). *A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy*. *Biotechnology reports* (Amsterdam, Netherlands), 28, e00570. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00570>

Zitt, M., Bassecoulard, E., & Okubo, Y. (2000). *Shadows of the past in international cooperation: Collaboration profiles of the top five producers of science*. *Scientometrics*, 47(3), 627–657.

Zupic, I., & Čater, T. (2015). *Bibliometric methods in management and organization*. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472.

11. Anexo

Anexo 1. Datos de cantidad de palabras clave en artículos sobre bioeconomía. Período: 2003-2022

Palabras Claves	Importancia relativa
Biomasa	25%
Biotecnología	12%
Desarrollo sustentable	12%
Biocombustible	12%
No humano	8%
Forestal	7%
Refinería	6%
Cambio Climático	6%
Sustentabilidad	6%
Fermentación	6%

Fuente: Scopus (Agosto 2023). Los porcentajes refieren a la cantidad de veces que la palabra clave se repite, sobre el total de palabras claves.

Anexo 2. Tabla bivariada: región según clúster de palabras en porcentaje para todas las regiones

Clúster	Europa	Asia	Africa	Australia	América del Norte	América del Sur	Total
1	56,49	13,56	1,33	0,81	22,02	5,79	100
2	71,73	9,34	1,23	0,56	12,31	4,84	100
3	62,39	20,06	2,68	1,79	8,20	4,87	100
4	52,35	22,09	2,75	0,78	14,12	7,91	100
5	71,45	15,07	0,97	1,46	8,38	2,67	100
6	65,68	9,37	2,84	1,58	16,53	4,00	100
Total	63,52	14,34	1,86	1,01	14,01	5,26	100

Fuente: Scopus (Agosto 2023).