

Bioeconomy as a research megatrend for agricultural sector: perspectives from a scientific landscapes analysis

Diego-Hernando Flórez-Martínez¹, PhD, Alexis Morales Castañeda,¹ Ing, and Claudia Patricia Uribe-Galvis, MSc¹
¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia, Colombia.

Abstract– The technological, economic, social and environmental dynamics of production systems are currently oriented by sustainability approaches in their raw material transformation cycles. The above is framed by new guidelines and orientations that promote the sustainable use of materials, the reuse of recovered products at the source and in the supply chain, the generation of new market niches for by-products and a circular approach to all lifecycle. This circular economy approach has permeated different sectors of the economy of nations, especially the agricultural sector, for its orientation in the generation and transformation of raw materials of plant and animal origin. This interaction derives in a circular bioeconomy megatrend, transversal to different variables, especially the technological one. Through a scientometric analysis carried out in the Scopus® database, trends and research, development and innovation focus were identified.

Keywords– bioeconomy, circular economy, Scientometrics, Megatrends, sustainable development

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.14>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Bioeconomía cómo megatendencia de investigación en el sector agropecuario: perspectivas desde un análisis de paisajes científicos

Diego-Hernando Flórez-Martínez¹, PhD, Alexis Morales Castañeda,¹ Ing, and Claudia Patricia Uribe-Galvis, MSc¹
¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia, Colombia.

Resumen– las dinámicas tecnológicas, económicas, sociales y ambientales de los diferentes sistemas productivos se encuentran actualmente orientadas, por enfoques de sostenibilidad y sustentabilidad en sus ciclos de transformación de materias primas. Lo anterior se enmarca en nuevas directrices y orientaciones que promueven el uso sostenible de los recursos, la reutilización de productos recuperados en la fuente y en la cadena de suministros, la generación de nuevos nichos de mercado para los subproductos y un enfoque circular para el ciclo de vida de productos. Este enfoque de economía circular ha permeado diferentes sectores de la economía de las naciones, especialmente el sector agropecuario, por su orientación en la generación y transformación de materias primas de origen vegetal y animal. Dicha interacción deriva en la bioeconomía circular como una megatendencia, transversal a diferentes variables, especialmente la tecnológica. A través de un análisis cuantitativo efectuado en la base de datos de Scopus® se identifican las tendencias y focos de actividad en investigación, desarrollo e innovación para la Bioeconomía Circular en el sector agropecuario.

Palabras Clave– Bioeconomía, economía circular, desarrollo sostenible, cuantitativa, megatendencias.

I. INTRODUCCIÓN

Las megatendencias se conceptualizan cómo cambios mayores a nivel social, tecnológico, ambiental o político que se desarrollan de manera lenta, emergen en un instante, influyen un amplio rango de actividades, procesos y percepciones, en entornos gubernamentales y sociales posiblemente por décadas, y son fuerzas subyacentes que direccionan tendencias específicas [1]. Estas tendencias específicas pueden ser de tipo político, económico, social, tecnológico ambiental o legal, estar acotadas a un área del conocimiento o un sector específico, o ser una combinación de estas.

Para el caso específico del sector agropecuario se han identificado siete megatendencias clave: Tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), Biotecnología, Biodiversidad, Agroenergías, Nanotecnología, Sostenibilidad ambiental y seguridad alimentaria [2]. Dichas megatendencias interactúan en tópicos específicos, lo que conlleva el análisis de sus interacciones de complementariedad o competencia [3]; así como la identificación de nuevas megatendencias.

La bioeconomía cómo megatendencia tiene su origen en 1975 en la propuesta titulada “Origen biológico de los

procesos económicos”, en la que se expresa la necesidad de construir programas económicos orientados al uso de la energía solar, el consumo sostenible de los recursos alimenticios, la planificación de la producción, la calidad de vida, la generación de productos de valor agregado, y la disminución en la producción y uso de insumo para la industria militar [4].

Cuatro décadas después de su trabajo seminal la bioeconomía es reconocida en diferentes niveles y ámbitos de direccionamiento. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y La Agricultura (FAO), la define cómo: la producción de bienes y servicios a partir de recursos, procesos y métodos biológicos [5]; La Organización para la Cooperación y el Desarrollo económico OCDE, la conceptualiza como el conjunto de actividades económicas en que la biotecnología contribuye a la producción primaria y a la industria, especialmente cuando las ciencias de la vida se orientan a la conversión de biomasa (natural; residual, residuos agrícolas, residuos forestales, industrias agrícolas y agroalimentarias, residuos de industrias forestales, residuos ganaderos; residuos urbanos; excedentes agrícolas; y, cultivos energéticos) en materiales, químicos y combustibles [6]–[9]; para la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), la bioeconomía ha pasado de un enfoque centrado en el desarrollo del conocimiento de las ciencias biológicas como la biotecnología, hasta un enfoque que rescata la importancia de recuperar la base biológica de la actividad económica, así como la relevancia del conocimiento biológico desde la evolución del planeta [10]; y, para entidades de asesoramiento cómo el Consejo Alemán de Bioeconomía esta se define como “la producción y utilización de recursos biológicos (incluido el conocimiento), para proveer productos, procesos y servicios en todos los sectores de comercio y la industria en un marco de economía sustentable” [11].

En Colombia, se define como “Una estrategia de crecimiento económico en la que se gestiona de manera eficiente y sostenible la Biodiversidad y la biomasa residual para generar nuevos productos, procesos y servicios de valor agregado basados en conocimiento e innovación, que permitan apalancar el crecimiento, desarrollo y progreso” [12].

Lo expresado anteriormente conlleva a identificar, que desde una aproximación tecnológica la bioeconomía tiene en la biotecnología su herramienta de transformación, y desde una aproximación productiva la biodiversidad como su

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.14>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

materia prima [13]. Esto se evidencia en lo propuesto por [14] en el cual a través de un enfoque cascada (*Up-Bottom/Bottom-Up*), se establece que la biodiversidad presente en las actividades primarias de la agricultura, la ganadería, la pesca, la acuicultura y la forestería, debe abordarse desde actividades de conservación, restauración y regeneración para contar con inventarios de biomasa. La biotecnología, apalanca la biodiversidad en los flujos de materia prima y producción a través de: i) biotecnología verde, para el desarrollo verde, la seguridad alimentaria y el cambio climático; ii) biotecnología blanca, para la energía, materiales avanzados, la industria química y farmacéutica; y, iii) la bioinformática, para soporte al diseño de nuevos productos y servicios. Finalmente, la interacción se extiende e influencia la cadena de valor desde los materiales primarios (agricultura), la producción y transformación (la cuarta revolución industrial y el emprendimiento), pasando por el comercio y la distribución (movilidad y cadena de suministros), hasta el consumo (cambios de comportamiento, mercadeo minorista, bienes de consumo y estilo de vida) [15].

Complementariamente, Ferrerira, Píe & Terceño, desarrollaron una revisión sistemática de literatura enfocada a tres conceptos hermanos: Bioeconomía, Economía verde y Economía circular. Como resultado de este estudio se evidencia que pese a las diferencias o especificidades de cada enfoque, su meta común es el desarrollo sostenible; el concepto de economía verde comprende a la bioeconomía y a la economía circular; y, el concepto más concreto es el de economía circular [15].

Entender la manera cómo la bioeconomía ha evolucionado desde su primera aproximación hasta la conceptualización actual, desde las perspectivas del desarrollo tecnológico, hacen necesario la implementación de herramientas y métodos específicos de análisis del conocimiento científico disponible para la megatendencias. Es así como a partir de la vigilancia tecnológica¹, se realizó un proceso de recolección, análisis y generación de paisajes científicos, a partir de publicaciones indexadas en las base de datos de Elsevier (Scopus). De este proceso se derivan la identificación de tópicos específicos de trabajo, redes de colaboración entre instituciones y países, y el mapa evolutivo de la megatendencia. Lo anterior contribuye a generar algunas directrices de trabajo, para el sector agropecuario.

En las siguientes secciones se desarrollan, el diseño metodológico de la investigación, los resultados, la discusión y las conclusiones.

¹ Procesos sistemáticos para la captura, análisis, difusión y explotación de la información científica y tecnológica útil para la supervivencia y el crecimiento de la organización. Debe generar alertas continuas sobre toda innovación susceptible de crear oportunidades o amenazas [23].

II. DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño de la investigación abarca cuatro fases:

- Fase I – Recuperación de información: en esta fase se desarrollan las actividades de diseño de la ecuación estructural de búsqueda, adquisición de los corpus de información y selección de los aplicativos de software.
- Fase II – Procesamiento de la información: a partir de los corpus de información y de cada uno de los aplicativos, se desarrolla el procesamiento de los datos para generar información en forma de reportes para: indicadores cuantitativos, mapas de coocurrencia (paisajes científicos), mapas de evolución del conocimiento basados en centralidad (importancia del tópico en todo el campo de investigación o análisis) y densidad (medición de que tan desarrollado está el tema).
- Fase III – Análisis de reportes: Se implementó un análisis descriptivo y relacional para los mapas de coocurrencia y los mapas de evolución del conocimiento, teniendo como base el análisis de clústeres.
- Fase IV – Construcción de perspectivas: a partir de los resultados identificados y del análisis comparativo frente a directrices globales, se definen perspectivas claves para la bioeconomía en el sector agropecuario.

III. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de cada una de las fases propuestas en el diseño metodológico:

A. Fase I

La ecuación de búsqueda diseñada para esta investigación comprende tres constructos. El primer **constructo** hace referencia a los temas base de análisis la bioeconomía y la bioeconomía circular. El segundo **constructo** incluye todos los tópicos relacionados con los temas de base obtenidos del análisis desarrollado en las secciones previas. Finalmente, el tercer **constructo** focaliza los temas y tópicos de análisis en agricultura y ciencias biológicas.

TITLE-ABS-KEY (("bioeconom*" OR "circular bioeconom*" OR "circular bio-econom*" OR "bio-econom*") AND ("circular economy" OR "biomass" OR "bio-based product" OR "biological cycle" OR "technical cycle" OR "bioeconomy value chain*" OR "circular economy value chain" OR "bioeconomic polic*" OR "biological resiliency*" OR "ancestral bioeconomy" OR "biodiversity potencial" OR "bioenerg*" OR "ecoinnovat*" OR "sustainable technolog*" OR "impact reduction" OR "life cycle assessment" OR "bio-based economy" OR "green economy" OR "bioprospection" OR "cascade process*" OR "green business" OR "biofuel" OR "bioprocess" OR "bioeconom*" OR "biological resources" OR "biodiversity" OR "biotechnology" OR "nanotechnology" OR "ICT" OR "food security" OR "bio-refiner*" OR "life product cycle" OR "residual biomass" OR "value-added products" OR "biomaterial" OR "bioinputs" OR "sustainable innovation" OR "omics" OR "bio-refiner*" OR "bioproduct*" OR "GEI" OR "greenhouse gases" OR "food quality" OR "biodesign" OR "decarbonization" OR "public policy" OR "policies" OR "low-carbon econom*" OR "bioindustries")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI"))

Se recuperaron un total de 1.591 publicaciones de las cuales 347 son de acceso abierto y 1.244 de acceso a través de

bibliotecas y editoriales especializadas. 1263 de las publicaciones son artículos científicos, 166 actas de conferencias, 97 reseñas, 61 capítulo de libro, 16 notas editoriales y 8 libros principalmente. Para el análisis de los corpus se utilizaron los aplicativos software VOSviewer y Bibliometrix.

B. Fase II y Fase III

La dinámica de publicaciones en bioeconomía tiene una tendencia creciente a partir del año 2005 y manteniéndose así hasta 2018. En lo corrido del año 2019 las publicaciones alcanzan el 88% de las registradas en 2019, lo cual proyecta que se mantiene la tendencia creciente la cual se ha mantenido en un 11,25%. Complementariamente se muestran adjuntos a la gráfica de crecimiento de hechos históricos de la ciencia y afines a la megatendencia (Figura 1).

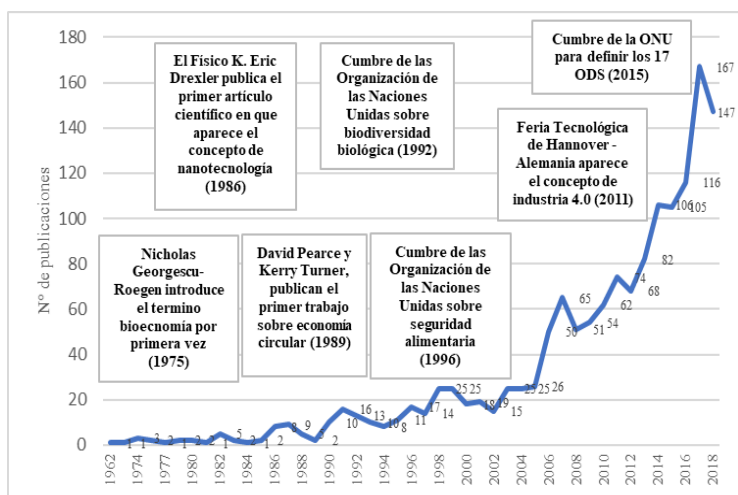


Fig. 1 Dinámica de publicaciones para la megatendencia de bioeconomía
Fuente. Elaboración propia a partir de información en Scopus, fecha de consulta octubre de 2019. Software de procesamiento Excel®

La generación de publicaciones en bioeconomía tiene en Estados Unidos con 251 publicaciones (215 de colaboración con autores estadounidenses y 36 con autores de otros países); Australia con 138 (103 endogámicos y 35 en colaboración externa); Canadá con 69 (49 y 20), son los tres países líderes en esta megatendencia. Destacan en américa latina y el caribe Brasil con 53 y México con 44.

El relacionamiento de países evidencia claramente una ruta de trabajo robusta entre Estados Unidos y Europa, así como con Australia y Nueva Zelanda. Se destaca la conexión con algunos países de Asia como China, India, Japón, y Corea del Sur. La participación de américa latina y el caribe, se evidencia en las redes de trabajo de Brasil con Estados Unidos, Australia y Europa Nórdica, y México y Chile (Figura 2).

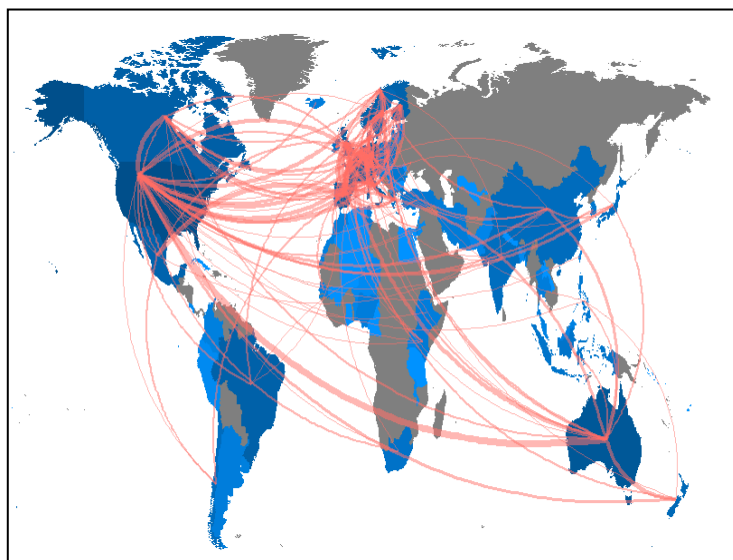


Fig. 2 Colaboración entre países en temáticas de bioeconomía
Fuente. Elaboración propia a partir de información en Scopus® fecha de consulta Octubre de 2019. Software de análisis Bibliometrix®

Estados Unidos con las universidades de Washington, Michigan, California, Cornell, Oregón, entre otras, trabaja en biotecnología, control de malezas, modelos bioeconómicos, gestión de la producción pesquera, biodiversidad, bioeconomía para la agricultura y biocombustibles. Alemania con la Universidad de Bonn y Hohenheim trabaja en temas de economía circular, bioeconomía y biodiversidad, cambio climático y valoración económica de modelos bioeconómicos. Holanda con la Universidad de Wageningen trabaja en bioenergías, modelos bioeconómicos para la agricultura, biodiversidad y servicios ecosistémicos.

En la Figura 3 se evidencian tres clústeres de trabajo liderados principalmente por: i) Universidad de Wageningen en Holanda, que trabaja de manera directa con las universidades alemanas de Bonn y de Hohenheim, y la Universidad de Aberdeen en Escocia; ii) Universidad de Ciencias Agrícolas de Suecia, que trabaja de manera directa con la Universidad de Múnich en Alemania, las universidades de Helsinki y Oriental de Finlandia, la universidad noruega de ciencias de la vida y el instituto noruego de investigación en bioeconomía y el instituto europeo de ciencias ambientales; iii) Universidad de California en Estados Unidos, que trabaja con las universidades de Columbia Británica, el Colegio Imperial de Londres, las universidades estadounidenses de Washington, y Stanford, las universidades australianas de Tasmania y Australia occidental. Además de estos tres clústeres existe un cuarto clúster de trabajo que genera sinergias con el clúster ii). Este nuevo clúster es liderado por la Universidad de Michigan en Estados Unidos, y conforma la escuela de trabajo estadounidense en temas de bioeconomía integrando a gran parte de las *land-grant universities*. Oregón, Nebraska, Washington, Wisconsin, Purdue, Minnesota, Kansas, Idaho y Colorado.

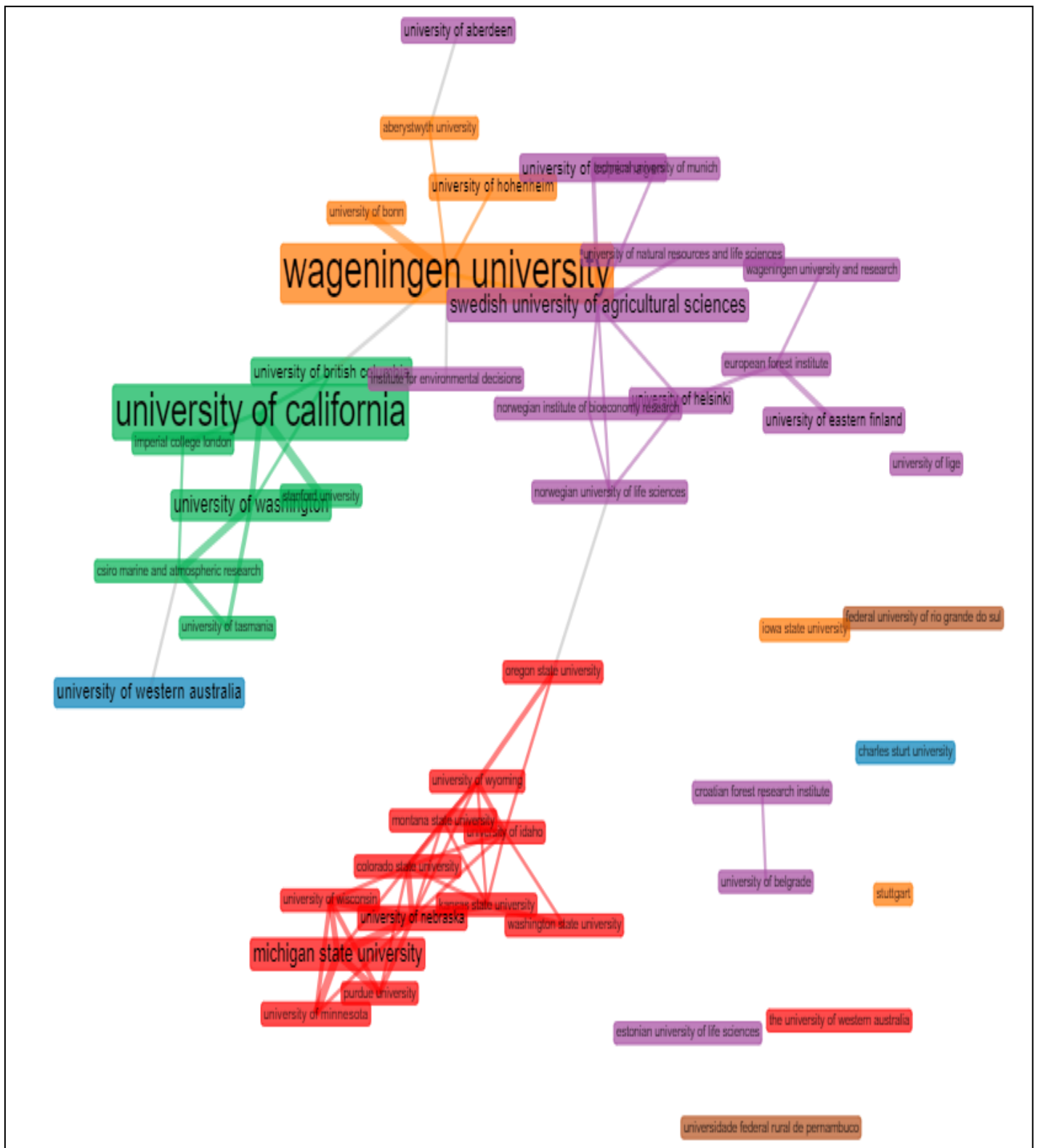


Fig. 3 Colaboración entre Instituciones en temáticas de bioeconomía
Fuente. Elaboración propia a partir de información en Scopus® fecha de consulta Octubre de 2019. Software de análisis Bibliometrix®

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCED).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCED).

Un análisis integrado a través de la técnica de análisis factorial de palabras clave permite agrupar términos recurrentes de los 1.591 artículos abordados en la estrategia de búsqueda, para la identificación de cuatro clústeres base. Estos clústeres permiten identificar la relación de tópicos clave a través de indicadores de proximidad, diferenciando entre diferentes conceptos y conceptos similares. En la Figura 4 se presentan los cuatro clústeres base:

- **Clúster Verde** – Bioeconomía y sostenibilidad ambiental: optimización, modelamiento, gestión y control de ecosistemas acuícola, ecosistemas agroforestales para servicios ecosistémicos, conservación, etc.
- **Clúster Violeta** – Simulación: de modelos bioeconómicos con variables como dinámica de poblaciones, gestión de sistemas productivos, y comportamiento económico.

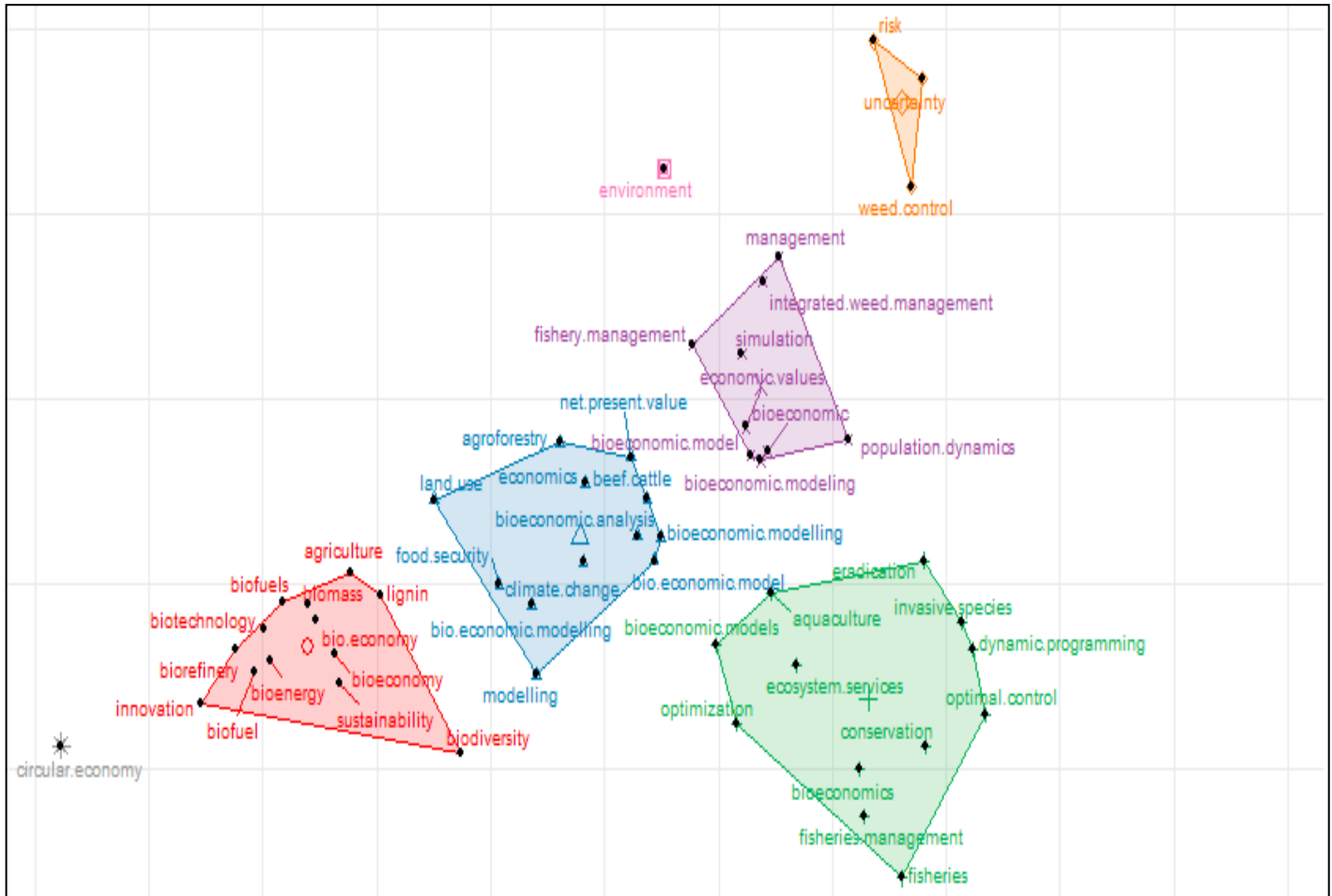


Fig. 4 Clústeres base del análisis fraccional
 Fuente. Elaboración propia a partir de información en Scopus® fecha de consulta Octubre de 2019. Software de análisis Bibliometrix®

- **Clúster Rojo** – Ejes centrales: sostenibilidad, biodiversidad, biotecnología, biorrefinería, biomasa, biocombustibles e innovación
- **Clúster Azul** – Bioeconomía y agricultura: modelamiento, análisis bioeconómico y modelamiento de sistemas agrícolas, forestales y pecuarios.

Para analizar con mayor detalla los clústeres temáticos en bioeconomía, se desarrolló un análisis de textos clave en los títulos y resúmenes de las 1.591 publicaciones. Este tipo de análisis permite analizar en detalle las interacciones intra e interclúster. En la Figura 5 se visualizan seis clústeres diferenciados por colores, los cuales interactúan a través de líneas de conexión

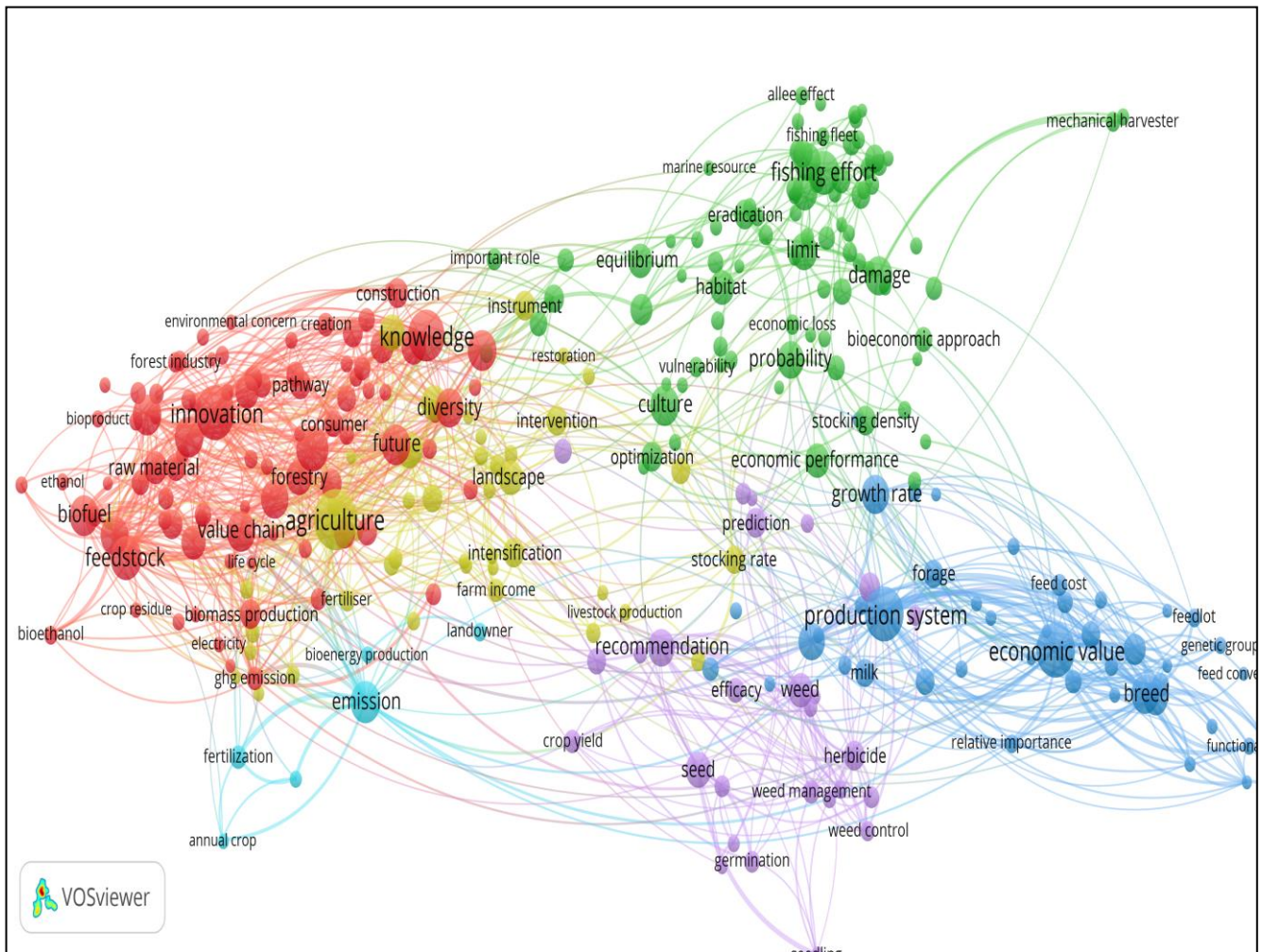


Fig. 5 Red de clústeres para el análisis de textos en título y resumen
Fuente. Elaboración propia a partir de información en Scopus® fecha de consulta Octubre de 2019. Software de análisis Bibliometrix®

- **Clúster Rojo – Bioeconomía en la cadena de valor:** este clúster comprende las innovaciones y el conocimiento generado para la producción de biomasa y bioproductos, el aprovechamiento de residuos en las cadenas de valor forestal, agrícola, pesquera y pecuaria, así como el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad. Este clúster tiene conexiones con el clúster cian en el tópicos de gases efecto invernadero, con el clúster amarillo en el sector agrícola como fuente biomasa y bioproductos, con el clúster verde en el tópicos de cultura de la bioeconomía y el equilibrio de los ecosistemas, y con el clúster azul en los modelos bioeconómicos para los sistemas de producción.
- **Clúster amarillo – Sector Agrícola:** este clúster comprende tópicos relacionados con el sector agrícola como la gestión de cultivos forestales,

- **Clúster verde – ecosistemas marinos:** se enfoca en la eficiencia económica, análisis de probabilidad, aproximaciones bioeconómicas y análisis de cadena de valor en ecosistemas marinos productivos de pesca y acuicultura. Se relaciona con el clúster rojo en temas de biodiversidad, con el clúster azul en temas de valor económico de sistemas productivos y con el clúster violeta en análisis predictivo en sistemas productivos.
- **Clúster azul – sistemas de producción:** se enfoca en la generación de valor económico en sistemas de producción a través de análisis de eficiencia

bioeconómica; además se contemplan tópicos de análisis de genotipos, análisis de sistemas de producción pecuaria de leche y carne, entre otros. Se relaciona con el **clúster verde** en tópicos de análisis probabilístico y simulación bioeconómica y con el **clúster amarillo** en tópicos de intensificación sostenible y con el **clúster rojo** en innovación en bioeconomía.

- **Clúster violeta – manejo de arvenses:** se enfoca en temas relacionados con el control de malezas, la germinación de semillas, rendimientos de cultivo y control de situaciones de emergencia. Se relaciona con el **clúster rojo** en tópicos como biodiversidad e innovación bioproductos y con el **clúster verde** en tópicos de densidad de cultivos y erradicación.
- **Clúster cian – gestión de emisiones:** este clúster se enfoca en la generación de emisiones y su mitigación, así como en la producción de bioenergía. Se relaciona con el **clúster amarillo** en la generación de GEI y en el secuestro de carbono; con el **clúster rojo** en temas de producción sostenible, biorrefinerías, biocombustibles y alimentación animal; con el **clúster azul** en los sistemas de producción agrícolas y pecuarias y con el **clúster verde** en eficiencia económica.

Retomando la ecuación de búsqueda planteada en la Fase I, se realiza un análisis homólogo de la evolución temática de la bioeconomía pero sin la restricción de limitar la búsqueda de publicaciones a temas de agricultura y ciencias biológicas.

En la figura 6 se observa que en la ventana de tiempo desde 1956 a 2019, el desarrollo del concepto de bioeconomía ha desarrollado rutas de crecimiento apoyándose en tópicos del desarrollo sostenible como: la agroforestería, las dinámicas poblacionales, la industria biotecnológica, la agricultura, la seguridad alimentaria, la biología sintética, la química verde y el análisis de ciclo de vida de productos y servicios. Todo lo anterior apalancado desde el diseño, adopción, apropiación e innovación en modelos bioeconómicos.

Un análisis más en detalle a través de la selección de ventanas temporales permite la categorización de los tópicos clave en cuatro tipologías de análisis, teniendo en cuenta dos variables, centralidad (importancia del tópico en todo el campo de investigación o análisis) y densidad (medición de que tan desarrollado está el tema) (Figura 7).

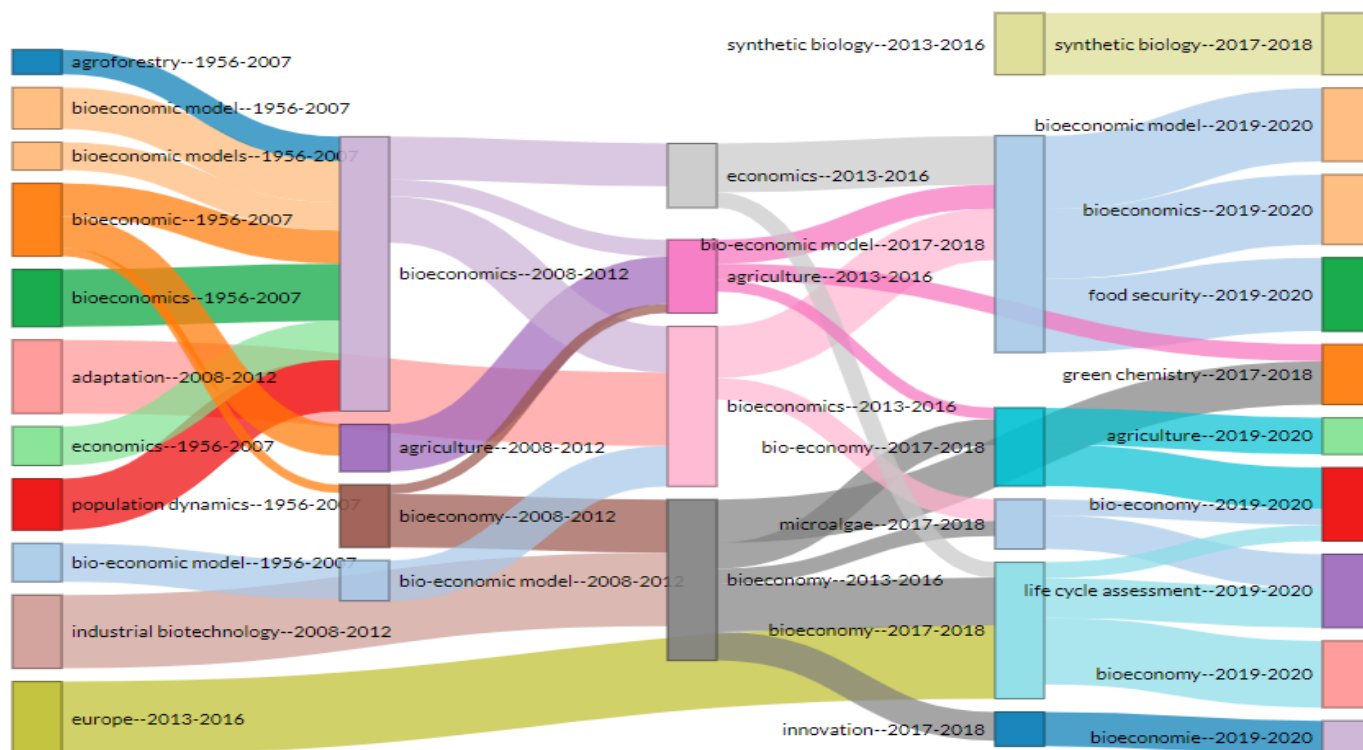


Fig. 6 Mapa de evolución temática de la investigación en bioeconomía
Fuente. Elaboración propia a partir de información en Scopus® fecha de consulta Octubre de 2019. Software de análisis Bibliometrix®

El análisis de cada ventana temporal se realiza a partir de cuatro cuadrantes: i) Cuadrante superior derecho, temas motor con un alto desarrollo y una importancia alta; ii) Cuadrante inferior derecho, temas básicos y transversales, temas de alta importancia y un desarrollo básico; iii) Cuadrante inferior izquierdo, temas emergentes y en declive, con importancia y desarrollo básico; y, iv) Cuadrante superior izquierdo, temas altamente desarrollados y aislados, con un alto desarrollo pero importancia básica.

El tamaño de la burbujas es proporcional al número de ocurrencias del tópico en los registros recuperados y el color indica que pertenece a un clúster (agrupación de tópicos), específica que guarda una valoración entre sí.

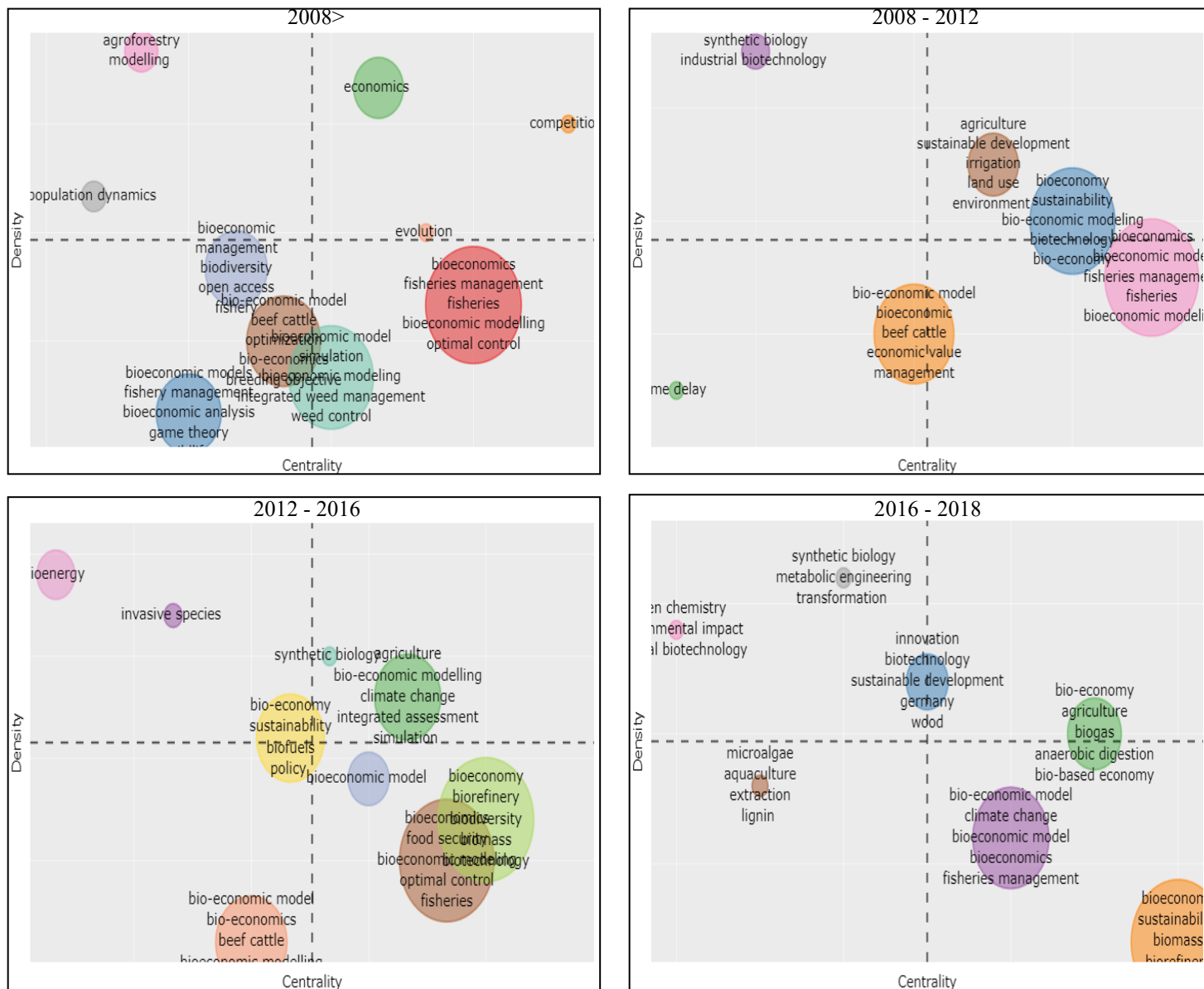


Fig. 7 Evolución y migración de tópicos en bioeconomía
Fuente. Elaboración propia a partir de información en Scopus® fecha de consulta Octubre de 2019. Software de análisis Bibliometrix®

- Ventana de tiempo 1 < 2007: Si bien el concepto global de la bioeconomía emerge en 1975 como respuesta al origen económico de los recursos biológicos y la competitividad de los sistemas productivos como tema motor, su interacción con el sector agropecuario se desarrolló a partir de su integración con temas emergentes como la biodiversidad, la gestión de recursos de pesca, la gestión de unidades productiva para ganado de carne y el control de arvenses. Cómo tema motor se consolida el diseño y adaptación de modelos bioeconómicos y cómo temas con alto desarrollo los sistemas productivos agroforestales y el estudio de las dinámicas poblacionales en ecosistemas.
- Ventana de tiempo 2, (2008 – 2012): en este periodo se consolidan como temas motor el desarrollo sustentable en los diferentes sistemas productivos, tópico que per se es una megatendencia en el sector agropecuario, enfoque en el uso sostenible de los recursos agua y suelo, desarrollo de modelos bioeconómicos contemplando tópicos de sostenibilidad y biotecnología y gestión de recursos pesqueros. Los tópicos emergentes se mantienen en el diseño de modelos bioeconómicos para ganadería y valoración económica. Los tópicos de alto desarrollo y que aún no son motor se enfocan en la biología sintética y la biotecnología industrial.
- Ventana de tiempo 3, (2013-2015): en esta ventana se empiezan a consolidar los tópicos en las cuatro categoría de análisis. Tópicos motor clave como la biología sintética, el modelamiento bioeconómico en agricultura, el cambio climático y la simulación de evaluación integrada de sistemas productivos. Tópicos transversales en temas de biomasa, biodiversidad y biotecnología. Temas en alto desarrollo como las bioenergías y las especies invasivas y temas aún en consolidación como los modelos bioeconómicos para la ganadería.
- Ventana 4, (2016-2018): Se generan cambios asociados a la dinámica de investigación en bioeconomía y la influencia de otras megatendencias. Se generan nuevos avances en temas de ingeniería metabólica, transformación y biología sintética, química verde, impacto ambiental de la producción y biotecnología industrial. Se mantienen como tópicos transversales y motor los modelo bioeconómicos para cambio climático, agricultura, biomasa, biorrefinerías y desarrollo sostenible. Emergen tópicos en el desarrollo de microalgas y la innovación es punto de transición entre temas altamente desarrollados y temas motor así como entre temas emergentes y altamente desarrollados.
- Materiales renovables: celulosa y lignina (reemplazo de sintéticos), mezclas de materiales reciclados y madera, biopolímeros de síntesis y materiales renovables con aplicaciones tecnológicas.
- Materiales no renovables sustentable: uso de residuos y subproductos
- Materiales de carbono: producción de hidrogeno, metano, metanol, hidrocarburos.; ciclos de carbono para la industria forestal, productos de alto valor agregado (químicos de base) El enfoque integrativo para el desarrollo de la bioeconomía se debe enfocar en los sistemas tecnológicos de innovación (*Technological Innovation Systems – TIS*).
- Los TIS comprenden una integración con cadenas productivas y clústeres que comprenden actores económicos y no económicos que promueven o limitan el desarrollo de temáticas específicas y transversales.
- Los componentes primordiales para una estructura de gobernanza de la bioeconomía, pueden basarse en clústeres que comprendan los actores de la triple hélice (academia, estado e industria), que en específico serían: actores relacionados con la generación y suministro de biomasa; actores generados de productos tecnológicos y no tecnológicos derivados de actividades de la I+D; actores formuladores de política pública que coadyuven a su promoción y desarrollo; actores que desarrollen emprendimiento o negocios en torno a la bioeconomía. Esta articulación debe conllevar al desarrollo de productos de base bioeconómica orientados a un mercado de consumo.
- En su conjunto los clústeres que comprenden el TIS, deben desarrollar como funciones primordiales: actividades de emprendimiento, desarrollo de conocimiento, redes y difusión de conocimiento, acompañamiento, creación de mercados, movilización de recursos y soporte institucional y gubernamental.
- Al igual que cualquier desarrollo tecnológico o innovación, el desarrollo de productos derivados de la bioeconomía comprende: predesarrollo, desarrollo, despeje, aceleración y estabilización.
- Líneas de desarrollo de la bioeconomía: biocombustibles (convencionales y avanzados); bioplásticos (incluidos los bioplásticos de base maderable – *Wood plastic composites*); partes industriales, automotrices y aeronáutica-espacial; química verde (incluidos los solventes industriales); lubricantes; cuidado personal y cuidado del hogar; productos a base de fibras (textiles, pulpa-papel y materiales aislantes); Alimentos y aditivos para la industria de alimentos

C. Fase IV

Lo resultados descritos en la Fase III, permiten diseñar algunas perspectivas clave para el desarrollo tecnológico futuro en un escenario de bioeconomía circular:

IV. CONCLUSIONES

La meta de desarrollo sostenible se considera uno de los principales tópicos de trabajo prioritario a incluir en las agendas nacionales y territoriales de desarrollo económico, social, científico-tecnológico, político, normativo, ético y

transversal. El foro económico mundial establece siete pilares para este tópico: Movilización para lograr repercusiones, invertir en desarrollo, innovación responsable, industrias de construcción sostenible, proteger el ambiente, búsqueda de la igualdad y nueva mentalidad económica.

La investigación y desarrollo tecnológico generado en la ventana temporal de análisis, con relación a los diferentes tópicos identificados en los clústeres de trabajo, han contribuido al comercio mundial de productos biobasados pasando de una participación en 2007 del 10% del total mundial a 2014 del 13% [16]. Lo anterior se ha visto impulsado por la inclusión de la bioeconomía y el desarrollo sostenible como pilares de la política pública de los países, sin embargo, el concepto actual de bioeconomía no necesariamente, está alineado con los criterios del desarrollo sustentable definidos en el marco de los objetivos de desarrollo sostenible, ejemplo de esto el uso intensivo de cultivos de seguridad alimentaria (azúcar, maíz, palma de aceite, entre otros), para la producción de biocombustibles, genera riesgo a la biodiversidad, al uso sostenible del suelo y el agua, así como impactos negativos en el bienestar de las comunidades rurales.

Lo expuesto con antelación conlleva a una reorientación de la I+D+i en bioeconomía, hacia una bioeconomía circular basada en cero emisiones y cero desperdicios, para esto las innovaciones deben tomar como base conceptos clave de: i) ecodiseño, el diseño de productos que minimiza el consumo de recursos y energía y maximiza los beneficios para los usuarios durante todo su ciclo de vida desde la fase primaria de concepción del producto" [17]; ii) bioprospección, búsqueda sistemática de componentes naturales y organismos completos de la biodiversidad con el fin de otorgarles un valor comercial para el desarrollo de productos [18]; iii) biomimesis, estudio de los modelos, sistemas, procesos y elementos naturales con el propósito de imitarlos y así encontrar soluciones prácticas a necesidades humanas [19]; iv) resiliencia, capacidad de un ecosistema para hacer frente a un período de estrés o perturbación y/o retornar posteriormente tras el cese del mismo al estado normal [20]; y, v) autopoiesis, cualidad y capacidad de los sistemas de reproducirse y mantenerse por sí mismos [21].

La bioeconomía circular en el sector agropecuario contribuye al desarrollo de la Alimentación 4.0 y la Agroindustria 4.0, para revolucionar la producción de alimentos a través de métodos no convencionales. El repensar el procesamiento de alimentos, nos lleva a considerar materiales agropecuarios de bajo valor, generación de variedades vegetales de base proteica, producción de insectos para alimentación; reducir la cadena de suministros acercando la producción al consumidor (espacios cerrados y urbanos para la producción primaria), nuevos alimentos e ingredientes, plataformas locales de producción, transformación, comercio y consumo, agricultura celular, entre otros.

La estrecha relación entre la bioeconomía y la circularidad tiene su expresión integral en el impacto en temas globales o faros (*lighthouses*), uno de estos es la acción por el clima en el enfoque de circularidad se enfoca en el desarrollo de fuentes de energía sustentable integradas, diseño de procesos para la captura, almacenamiento y uso de carbono, que conlleven en el mediano plazo a la transformación de la industrias a emisiones cero. Lo anterior genera nuevas oportunidades de negocio para los denominados procesos industriales climáticamente neutrales.

Para Colombia, la bioeconomía requiere un cambio transformativo acelerado que combina los avances de las ciencias ambientales, biológicas, químicas, físicas y digitales, mediante seis vías de acción: (1) aprovechamiento, valorización y conservación sostenible de los recursos de la biodiversidad; (2) eco intensificación para la agricultura sostenible; (3) aplicaciones biotecnológicas (productos y procesos); (4) servicios ecosistémicos; (5) eficiencia en las cadenas de valor; y (6) biorrefinerías y bioproductos. Para lograr este cambio, es fundamental garantizar la articulación entre las instituciones estatales, el sistema de CTI, el Gobierno, la industria y la sociedad civil [22].

Finalmente, el faro fundamental en la bioeconomía es la suficiencia de recursos, la cual propende por desarrollar la sabiduría para balancear los recursos finitos y el crecimiento del consumo. El uso inteligente de nuestras materias primas, a través de una visión holística de diseño, transformación, entrega y uso, a través de la circularidad para extraer el máximo valor de estas desde su reutilización y reciclaje. Mas aún generar procesos para la explotación de residuos y subproductos.

REFERENCIAS

- [1] B. Lloyd and J. Naisbitt, "Megatrends and Global Paradoxes," *Manag. Decis.*, 1994.
- [2] D. H. Florez Martínez, A. Morales Castañeda, and C. P. Uribe Galvis, "Megatendencias en investigación, desarrollo e innovación para el sector agropecuario colombiano: perspectivas, estrategias y visiones de futuro," *AGROSAVIA*, 2018.
- [3] D. H. Florez Martínez and C. P. Uribe Galvis, "DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE FUTURO DICOTÓMICAS PARA LAS MEGATENDENCIAS DE SEGURIDAD ALIMENTARIA Y AGROENERGÍAS: CASO DE ESTUDIO SECTOR AGROPECUARIO COLOMBIANO," in *70 años de la CEPAL: Planificación para el desarrollo con visión de futuro*, 2018.
- [4] N. Georgescu-Roegen, "Dynamic models and economic growth," *World Dev.*, 1975.
- [5] O. de las N. U. para la A. y la A. FAO, "How sustainability is addressed in official bioeconomy strategies at international, national and regional levels: An overview." Rome, 2016.
- [6] O. para la C. y el D. E. OCDE, *The Bioeconomy to 2030: Designing a policy agenda*. 2009.
- [7] J. Philp and D. Winickoff, "Realising the circular bioeconomy," *OECD Sci. Technol. Ind. Policy Pap.*, no. No. 60, 2018.
- [8] D. Shachnev and D. Karpenko, "Using the subject area ontology for automating learning processes and scientific investigation," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 10742 LNCS, pp. 364-374, 2018.
- [9] A. F. Rojas-González, C. Flórez-Montes, and D. F. López-

- Rodríguez, "Prospectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales," *Rev. Cuba. Química*, 2019.
- [10] A. G. Rodríguez, A. O. Mondaini, and M. A. Hirschfeld, "Bioeconomía en América Latina y el Caribe: contexto global y regional y perspectivas," p. 96, 2017.
- [11] G. B. C. GBC, "What is Bioeconomy?," 2018. [Online]. Available: <http://bioekonomierat.de/en/bioeconomy/>.
- [12] U. de M. C. L. Universidad EAFIT, BIOINTROPIC, SILO. DNP, "ESTUDIO SOBRE BIOECONOMÍA COMO FUENTE DE NUEVAS INDUSTRIAS BASADAS EN EL CAPITAL NATURAL DE COLOMBIA. No1240667. Fase I ANEXO 2. Alcance del concepto de bioeconomía para Colombia," *DNP Dep. Nac. Planeación*, pp. 1–11, 2018.
- [13] A. G. Rodríguez, "La bioeconomía : oportunidades y desafíos para el desarrollo rural , agrícola y agroindustrial en América Latina y el Caribe," *El boletín CEPAL/FAO/IICA*, p. 16, 2017.
- [14] M. Carus and L. Dammer, "The Circular Bioeconomy - Concepts, Opportunities, and Limitations," *Ind. Biotechnol.*, 2018.
- [15] V. F. Gregorio, L. Pié, and A. Terceño, "A systematic literature review of bio, green and circular economy trends in publications in the field of economics and business management," *Sustain.*, vol. 10, no. 11, 2018.
- [16] B. El-Chichakli, J. von Braun, C. Lang, D. Barben, and J. Philp, "Five cornerstones of a global bioeconomy," *Nature*, vol. 14, no. 14, pp. 221–223, 2016.
- [17] E. Ramírez and L. Galán, "El Ecodiseño Como Herramienta Básica De Gestión Industrial," *XVIII Congr. Int. Ing. Gráfica*, 2006.
- [18] O. D. Torres and L. Velho, "La bioprospección como un mecanismo de cooperación internacional para fortalecimiento de capacidades en ciencia y tecnología en Colombia," *Cienc. da Inf.*, 2009.
- [19] "Biomimética: innovación sustentable inspirada por la naturaleza," *Investig. y Cienc. la Univ. Autónoma Aguascalientes*, 2012.
- [20] L. J. Kirmayer, M. Sehdev, R. Whitley, S. F. Dandeneau, and C. Isaac, "Community Resilience: Models, Metaphors and Measures," *Int. J. Indig. Heal.*, 2009.
- [21] H. R. Maturana and F. J. Varela, *De máquinas y seres vivos ou Autopoieses: da organização de lo vivo*. 2004.
- [22] MISIÓN INTERNACIONAL DE SABIOS, "COLOMBIA HACIA UNA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO." p. 293, 2019.
- [23] P. Escorsa and R. Maspons, "De la vigilancia tecnológica a la inteligencia competitiva," *la Vigil. tecnológica a la Intel. Compet.*, 2001.