



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2024,
Volumen 8, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5

BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA, TENDENCIAS Y OPORTUNIDADES ACTUALES

BIOPLASTICS FROM AGRICULTURAL WASTE: A SYSTEMATIC REVIEW OF CURRENT TRENDS AND OPPORTUNITIES

Kevin Huilcarema-Enríquez

Universidad Estatal de Milagro - Ecuador

Ronny Fabian Amaguay Gómez

Universidad Estatal de Milagro - Ecuador

Jaime David Sevilla Carrasco

Universidad Estatal de Milagro - Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14294

Bioplásticos a Partir de Residuos Agrícolas: Una Revisión Sistemática, Tendencias Y Oportunidades Actuales

Kevin Huilcarema Enríquez¹khuilcaremae@unemi.edu.ec<https://orcid.org/0009-0005-5140-0017>

Universidad Estatal de Milagro

Ecuador

Ronny Fabian Amaguay Gómezramaguayg@unemi.edu.ec<https://orcid.org/0009-0002-6380-552X>

Universidad Estatal de Milagro

Ecuador

Jaime David Sevilla Carrascojsevillac@unemi.edu.ec<https://orcid.org/0000-0001-5257-299X>

Universidad Estatal de Milagro

Ecuador

RESUMEN

Esta revisión sistemática explora la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas como una alternativa sostenible para reducir la contaminación plástica. A partir del análisis bibliométrico usando Bibliometrix, se reveló que Estados Unidos y Europa occidental lideran este campo, mientras que en América Latina, solo Brasil tiene una contribución significativa. La Universidad de Sevilla destaca con el 21.8% de las publicaciones, seguida de King Abdulaziz University y Universiti Malaysia Pahang. El análisis temático muestra la ausencia de temas "motores" consolidados, indicando áreas con potencial investigativo. Los "temas de nicho" incluyen el polyhydroxybutyrate, mientras que la "biodegradación" y el empaquetado alimentario emergen como áreas incipientes. Temas como "bioplásticos" y "economía circular" son conceptos clave en sostenibilidad, aunque requieren mayor desarrollo práctico. Este estudio subraya la importancia de fomentar investigaciones en bioplásticos basados en biomasa renovable (maíz, caña de azúcar), dada su biodegradabilidad y bajo impacto ambiental. Sin embargo, su participación en el mercado global es aún limitada, con solo el 1% de la producción de plásticos.

Palabras clave: bioplásticos, biopolímeros, residuos agrícolas, sostenibilidad

¹ Autor principal.

Correspondencia: khuilcaremae@unemi.edu.ec

Bioplastics from Agricultural Waste: A Systematic Review of Current Trends and Opportunities

ABSTRACT

This systematic review explored the production of bioplastics from agricultural waste as a sustainable alternative to reduce plastic pollution. Bibliometrix was used to perform the bibliometric analysis, revealing that the United States and Western Europe lead this field, whereas in Latin America, only Brazil has a significant contribution. The University of Seville stands out with 21.8% of publications, followed by King Abdulaziz University and Universiti Malaysia Pahang. Thematic analysis shows the absence of consolidated “driver” topics, indicating areas with research potential. Niche topics” include polyhydroxybutyrate, while ‘biodegradation’ and food packaging have emerged as emerging areas. Topics such as “bioplastics” and “circular economies are key concepts in sustainability, although they require further practical development. This study highlights the importance of promoting research on bioplastics based on renewable biomass (corn and sugarcane), given their biodegradability and low environmental impact. However, their share in the global market is still limited, with only 1% plastic production.

Keywords: bioplastics, biopolymers, agriculture wastes, sustainability

Artículo recibido 10 septiembre 2024
Aceptado para publicación: 12 octubre 2024



INTRODUCCIÓN

La producción mundial de plástico supera los 330 millones de toneladas anuales, siendo la industria de los envases el mayor consumidor, con un 40% (Ibrahim et al., 2021). Esta producción masiva de plásticos no biodegradables ha provocado importantes problemas medioambientales debido a la acumulación de residuos sólidos.

Los bioplásticos representan una alternativa sostenible a los plásticos tradicionales derivados del petróleo, derivados de fuentes renovables de biomasa como el maíz, la caña de azúcar y las cáscaras de patata. A diferencia de los plásticos convencionales, que contribuyen significativamente a la contaminación ambiental debido a su naturaleza no biodegradable, los bioplásticos pueden descomponerse por acción microbiana, mitigando así los problemas de gestión de residuos (Bulla et al., 2024; Nisar et al., 2024). Definidos como materiales de base biológica, biodegradables o ambos, los bioplásticos ofrecen una solución prometedora para reducir los residuos plásticos y la contaminación ambiental (Ibrahim et al., 2021; Nasir & Othman, 2020). Aunque los bioplásticos ofrecen numerosas ventajas medioambientales, como la biodegradabilidad y la reducción de la huella de carbono, actualmente sólo representan alrededor del 1% de la producción total de plástico (Chan et al., 2021).

La producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas ha sido ampliamente analizada en investigaciones recientes, que destacan sus beneficios en términos de sostenibilidad y reducción de la contaminación, así como sus desafíos relacionados con costos y eficiencia en la producción. Diversos estudios revisados (Arif et al., 2022; Chan et al., 2021; Fabris et al., 2020; Ncube et al., 2020; Sedayu et al., 2019; Vigneswari et al., 2024; Xiong et al., 2019) abordan las características y aplicaciones potenciales de los bioplásticos derivados de diferentes fuentes de residuos agrícolas, las cuales representan una alternativa ambientalmente amigable frente a los plásticos convencionales.

Mediante un análisis exhaustivo, esta revisión sistemática pretende contribuir al desarrollo de alternativas sostenibles a los plásticos convencionales y apoyar la transición hacia un futuro más respetuoso con el medio ambiente.

METODOLOGÍA

Esta revisión sistemática de literatura se realizó enfocada en la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las tendencias actuales en la investigación y desarrollo de bioplásticos producidos a partir

de diversos residuos agrícolas? La metodología a seguir fue la siguiente: 1.- Selección de las bases de datos; 2.- Definición de términos claves; 3.- Criterios de inclusión y exclusión.

Para desarrollar esta revisión sistemática de la literatura, se diseñó un protocolo de búsqueda riguroso que permitiera identificar y analizar las investigaciones más relevantes y recientes en el área de estudio. En esta fase, la elección de las bases de datos se fundamentó en la necesidad de obtener una cobertura amplia, representativa y de calidad de la literatura disponible. Con este objetivo, se seleccionaron dos bases de datos primarias: Scopus y Google Scholar, cada una con características particulares que justifican su inclusión en este análisis.

Scopus fue elegida por su reconocimiento como una de las bases de datos científicas más exhaustivas a nivel internacional, ofreciendo una vasta colección de publicaciones revisadas por pares en una variedad de disciplinas. Esto permitió acceder a una cantidad significativa de artículos de alta calidad, indexados en editoriales académicas de prestigio. La inclusión de Scopus en el proceso de búsqueda garantiza que se cubran las contribuciones clave de la literatura académica reciente y se minimice el riesgo de omisión de trabajos relevantes.

Por su parte, Google Scholar se incluyó para ampliar el espectro de documentos, dada su capacidad para indexar no solo artículos académicos, sino también tesis, informes técnicos y otros documentos relevantes que podrían no estar presentes en bases de datos más tradicionales. Esta diversidad de fuentes es importante para capturar perspectivas variadas y enfoques alternativos que enriquecen la revisión, permitiendo una exploración más inclusiva del conocimiento existente.

Para una correcta búsqueda de documentos relacionados con el tema se definieron los siguientes términos claves con los siguientes operadores booleanos: "bioplastics" AND "agriculture" AND "wastes".

Se definieron los siguientes criterios de inclusión y exclusión para asegurar la calidad de los documentos y su vigencia o tendencia actuales:

1. Se seleccionaron documentos del periodo 2014-2024
2. Se seleccionaron todas las áreas temáticas
3. Se seleccionaron los idiomas inglés y español
4. Se seleccionaron solo artículos de revistas científicas evaluados por pares revisores
5. Se seleccionaron solo documentos que aborden todas las variables revisadas y de libre acceso.

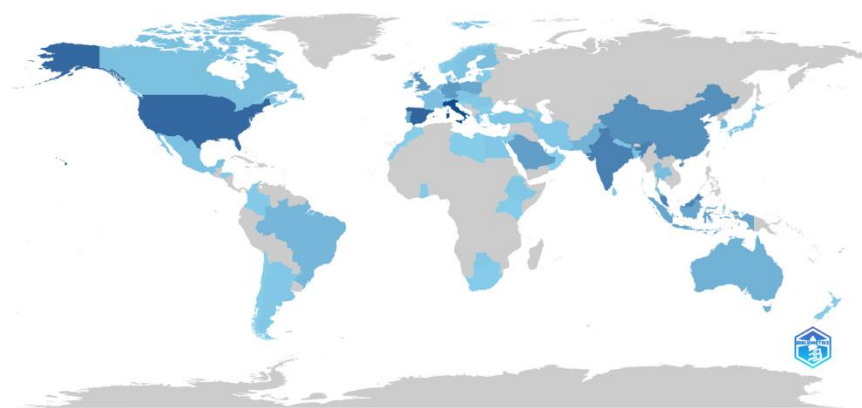
Para desarrollar la metodología de esta investigación, se aplicó un enfoque estructurado y exhaustivo que integró técnicas de búsqueda en bases de datos junto con herramientas de análisis bibliométrico. En la presente investigación se empleó el software Bibliometrix para llevar a cabo el análisis bibliométrico de la producción científica en el campo de estudio. Bibliometrix es una herramienta de código abierto que permite realizar análisis cuantitativos y cualitativos de la literatura académica mediante el procesamiento de datos bibliográficos extraídos de bases de datos analizadas (Aria & Cuccurullo, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La búsqueda inicial dio como resultado 1105 documentos, luego de aplicar los cuatro primeros criterios de inclusión y exclusión quedaron 326 documentos. Para la búsqueda de información en Scopus se decidió incluir entre los términos claves los operadores boeianos: "bio-plastics" AND "agriculture" AND "wastes" OR "biopolymer" AND "sustainable" OR "bioplastics" AND "waste" AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2024, AND (LIMIT-TO (OA , "all")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")), con lo cual se obtuvieron 302 resultados.

El mapa presentado en la Figura 1 muestra la producción científica por país en el campo de estudio, utilizando una escala de color donde los tonos más oscuros indican una mayor cantidad de publicaciones y los tonos más claros representan una menor contribución. Este patrón visual permite observar cómo ciertos países tienen un rol dominante en la producción científica, con una concentración notable en Estados Unidos, varios países de Europa occidental, China y algunos países del sudeste asiático.

Figura 1. Producción científica por países a nivel global.
Country Scientific Production



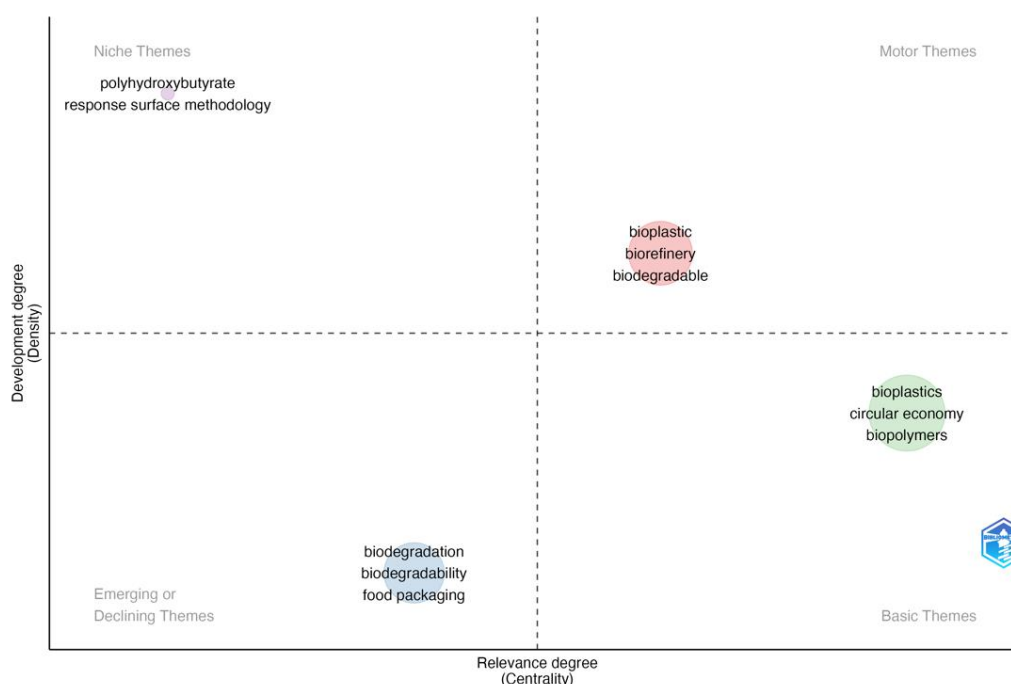
Fuente: Elaboración propia

Estados Unidos se destaca como uno de los líderes globales en términos de producción científica,

resaltado en un tono azul oscuro que denota su alta contribución. En Europa, países como España, Francia, Alemania e Italia también presentan una alta densidad de publicaciones, lo cual sugiere una fuerte inversión en investigación y desarrollo en este campo. Asia muestra una contribución significativa, especialmente en China y la India, indicativo de un interés creciente y recursos dedicados en esta región.

América Latina y África, en comparación, presentan una menor producción científica, representada en tonos más claros. Sin embargo, países como Brasil y Sudáfrica destacan dentro de sus regiones, lo que sugiere puntos focales de investigación que podrían actuar como centros de colaboración en sus respectivos continentes. En el caso de Oceanía, Australia también muestra una contribución relevante. La Figura 2 muestra un mapa temático que clasifica los temas de investigación en torno a los bioplásticos según dos dimensiones clave: grado de desarrollo (densidad) y grado de relevancia (centralidad). Los temas se agrupan en cuatro cuadrantes, permitiendo visualizar su estado de desarrollo y su rol dentro del campo de estudio de bioplásticos y sostenibilidad.

Figura 2. Mapa temático de investigación en bioplásticos.



Fuente: Elaboración propia

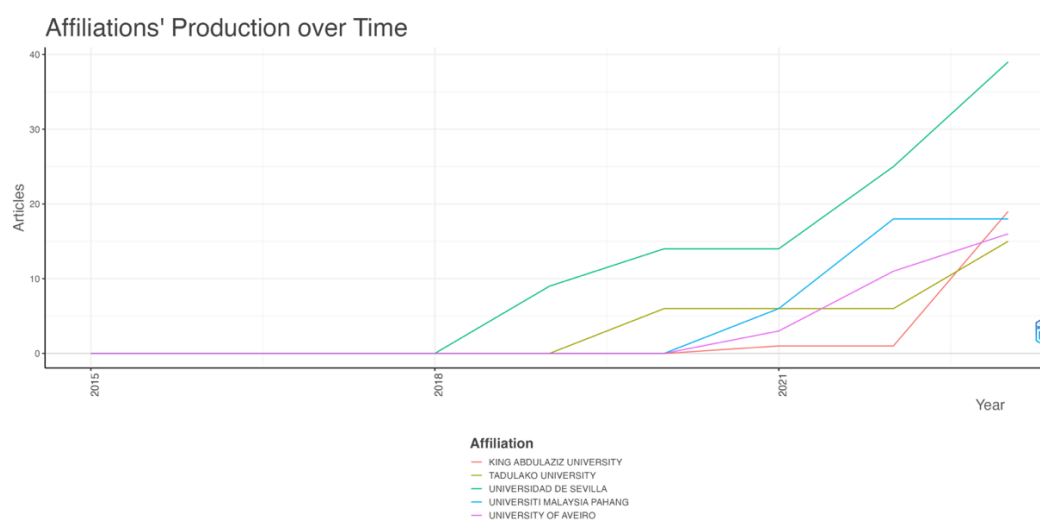
En el cuadrante de Temas Motores (Motor Themes), que se ubica en la esquina superior derecha, no se observa la presencia de temas específicos. Este vacío puede interpretarse como una falta de áreas de investigación consolidadas que sean a la vez altamente desarrolladas y centrales en el campo. Esto

sugiere que no hay, por el momento, un área dominante que cumpla un rol clave y transversal dentro de la investigación en bioplásticos. La ausencia de temas en esta categoría podría indicar una oportunidad de investigación para consolidar aspectos relevantes de bioplásticos y economía circular, los cuales podrían generar un impacto más amplio y duradero en el campo.

De manera adicional, en el cuadrante de Temas de Nicho (Niche Themes), ubicado en la esquina superior izquierda, se identifican los términos "polyhydroxybutyrate" y "response surface methodology". Estos temas presentan alta densidad pero baja centralidad, lo que indica que están bien desarrollados, aunque su relevancia o conexión con otros temas centrales es limitada. Estos temas pueden considerarse como enfoques especializados en el campo de bioplásticos, que no han sido aún integrados a los debates o líneas de investigación centrales, posiblemente debido a su carácter técnico o a su aplicación específica. El cuadrante inferior izquierdo, correspondiente a Temas Emergentes o en Declive (Emerging or Declining Themes), incluye términos como "biodegradation", "biodegradability" y "food packaging". Estos temas presentan tanto baja densidad como baja centralidad, lo que sugiere que están en una fase de desarrollo inicial o, en algunos casos, en declive. En el contexto de bioplásticos, la inclusión de estos temas en esta categoría sugiere que aún no han alcanzado suficiente relevancia o desarrollo en el campo. Sin embargo, pueden representar áreas de interés emergente, particularmente en la aplicación de bioplásticos en el empaque de alimentos, debido a la necesidad creciente de soluciones sostenibles y biodegradables en la industria. Finalmente, en el cuadrante de Temas Básicos (Basic Themes), ubicado en la esquina inferior derecha, se encuentran los términos "bioplastics", "circular economy" y "biopolymers". Estos temas muestran alta centralidad pero baja densidad, lo que indica que constituyen conceptos fundamentales en la investigación de bioplásticos y sostenibilidad, con conexiones amplias dentro del campo. La "economía circular" y los "biopolímeros" proporcionan una base conceptual esencial para la investigación de materiales biodegradables y la gestión de recursos en la producción de bioplásticos, aunque aún presentan oportunidades de desarrollo adicional para mejorar su aplicabilidad y alcance.

Por otro lado, la evolución temporal de la producción de artículos científicos de diversas afiliaciones universitarias en el campo de los bioplásticos y áreas relacionadas se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Evolución temporal de la producción científica por institución.



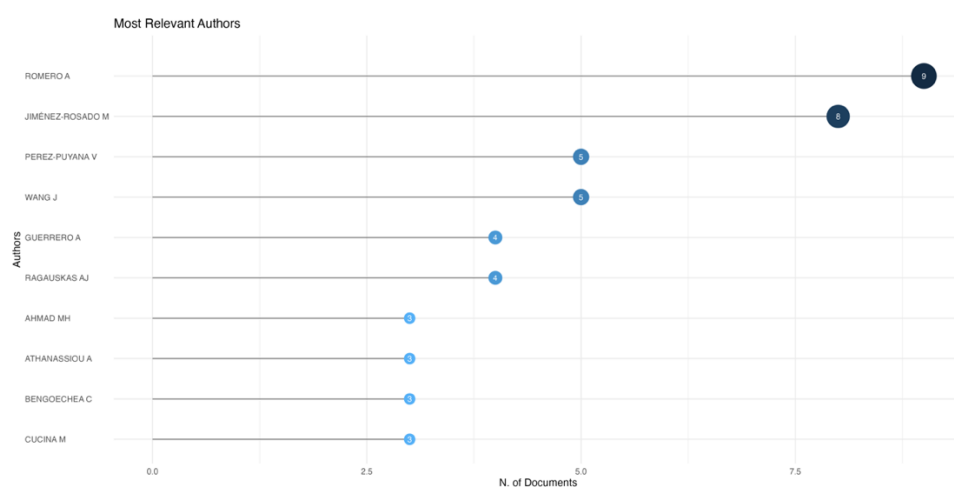
Fuente: Elaboración propia

La Figura 3 presenta las instituciones académicas más relevantes en términos de producción científica dentro del campo de estudio, reflejando su impacto y posicionamiento en la comunidad investigativa global, donde se observa que la "Universidad de Sevilla" lidera significativamente con 39 artículos, lo cual representa el 21.8% del total de publicaciones de las instituciones enlistadas en esta gráfica, esta institución exhibe un crecimiento continuo y destacado, especialmente a partir del año 2018, alcanzando el mayor número de publicaciones en 2024. En segundo lugar, se encuentra "King Abdulaziz University" muestra un crecimiento constante que se acelera notablemente después de 2021, con 19 artículos, lo que equivale al 10.6% de las publicaciones, mientras que "Universiti Malaysia Pahang" le sigue de cerca con 18 artículos, representando el 10.1%. Además, la "University of Aveiro" y "Tadulako University" también muestran un nivel considerable de producción científica, con 16 y 15 artículos respectivamente, contribuyendo con el 8.9% y el 8.4%. En un segundo grupo de instituciones, se encuentran la "Slovak University of Technology" y "Universiti Sains Malaysia", ambas con 14 publicaciones cada una, representando cada una el 7.8% del total. A continuación, la "Universidad Autónoma de Madrid" y "Wageningen University and Research" aportan con 13 artículos cada una, lo que equivale al 7.3%. Finalmente, "Ultimo" cierra la lista con 12 publicaciones, representando el 6.7%. Este análisis porcentual y numérico permite visualizar de manera clara cómo la producción científica está distribuida entre diversas instituciones de distintas regiones, especialmente en Europa y Asia, lo que resalta el interés y el compromiso global con el tema de estudio. Identificar a estas instituciones líderes no solo es

útil para reconocer los centros de excelencia en este campo, sino también para establecer posibles colaboraciones futuras que fortalezcan y expandan el conocimiento en el área.

La Figura 4 destaca a los autores más relevantes en el campo de estudio. Aquí se muestra que Romero A y Jiménez-Rosado M lideran la producción científica, con 9 y 8 documentos respectivamente, seguidos por Pérez-Puyana V y Wang J con 5 cada uno. Esta preeminencia refleja la influencia de estos autores en el desarrollo del conocimiento en el área de bioplásticos y materiales sostenibles.

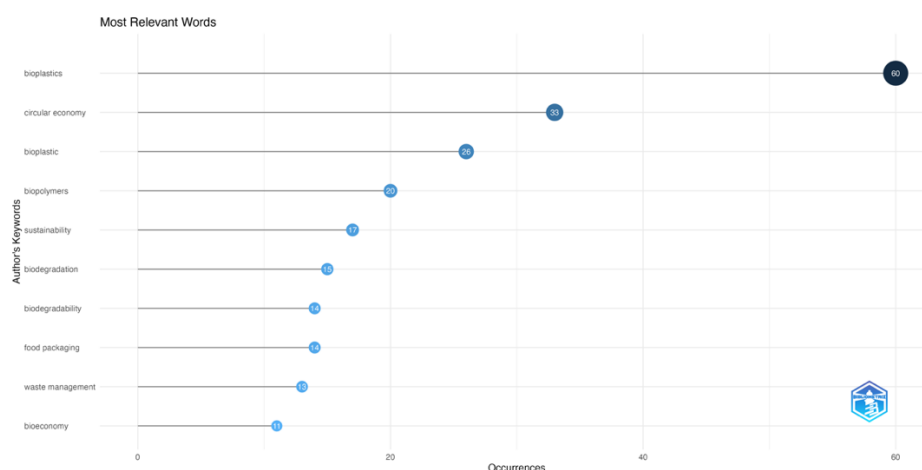
Figura 4. Autores más relevantes en el campo según la cantidad de publicaciones.



Fuente: Elaboración propia

Complementando esta información, los resultados de la Figura 5 sobre palabras clave más relevantes subraya que los términos "bioplastics" y "circular economy" son los más frecuentes, con 60 y 33 ocurrencias respectivamente. Esto indica que la investigación en bioplásticos está fuertemente vinculada a conceptos de economía circular, destacando la relevancia de estos materiales como una alternativa sostenible en el marco de estrategias de economía circular. Otros términos clave como "biopolymers", "sustainability" y "biodegradation" también aparecen frecuentemente, reflejando el enfoque en materiales biodegradables y sostenibles.

Figura 5. Palabras clave más relevantes según el número de ocurrencias.



Fuente: Elaboración propia

El análisis bibliométrico realizado permitió identificar las instituciones y países con mayor contribución en la producción científica, así como las tendencias temporales que reflejan el desarrollo del campo de estudio. A partir de estos resultados, se destacan a continuación resultados de las investigaciones claves. La investigación de Castro-Criado et al. (2023) evalúa el uso de bagazo de cerveza como materia prima para bioplásticos, estudiando su estabilización mediante liofilización y tratamientos térmicos. Una vez estabilizado, este bagazo, rico en proteínas y polisacáridos, se combinó con glicerol para producir bioplásticos mediante moldeo por inyección, demostrando ser una fuente viable para aplicaciones agrícolas y hortícolas. Por su parte, Coppola et al. (2021) destacan los beneficios de la biomasa renovable, como residuos agrícolas, para producir biopolímeros, los cuales presentan bajas emisiones de carbono y alta biodegradabilidad, posicionándose como una opción comercial prometedora. Por su parte, el trabajo publicado por Laurens et al. (2017) explora los conceptos de biorrefinería basados en la integración de biomasa de algas y residuos lignocelulósicos. La investigación destaca que los biopolímeros derivados de estas fuentes pueden producirse de manera sostenible y con una menor huella de carbono en comparación con los polímeros convencionales. Además, este artículo revela que la combinación de biomasa algal y residuos lignocelulósicos aumenta el rendimiento de producción de bioplásticos, posicionándolos como una alternativa ecológica y económica. Asimismo, Chia et al. (2020) abordan la contaminación plástica desde una perspectiva innovadora, evaluando el potencial de las algas como fuente de bioplásticos, el estudio identifica que los bioplásticos

derivados de biomasa algal presentan propiedades biodegradables ideales para reemplazar plásticos convencionales en varias aplicaciones. Los autores argumentan que el uso de algas no solo podría disminuir la dependencia de recursos fósiles, sino que también ofrece un camino para reducir la acumulación de plásticos en el medio ambiente. Además, destacan la importancia de establecer marcos regulatorios que favorezcan la integración de estos materiales en la economía global.

Comparado con estudios que se enfocan en biopolímeros derivados de algas, como el de Laurens et al. (2017) y Chia et al. (2020) que abordan la integración de algas y residuos lignocelulósicos, sugiriendo su sostenibilidad y menor huella de carbono, Coppola y colaboradores destacan la viabilidad de una integración de residuos agrícolas, especialmente en términos de disponibilidad y bajo costo de las materias primas, lo que podría facilitar su adopción en el mercado.

Por otro lado, Marichelvam et al. (2019) investigan la producción de bioplásticos a partir de almidón de maíz y arroz, evaluando sus propiedades mecánicas y térmicas. Los resultados muestran que los bioplásticos basados en estos almidones poseen alta biodegradabilidad, aunque presentan limitaciones en resistencia y durabilidad. Los autores sugieren posibles modificaciones en la formulación para mejorar sus propiedades físicas, lo que podría incrementar su aplicabilidad en el sector de empaques de corta vida. Relativamente, los hallazgos de este estudio destacan que, aunque los bioplásticos de almidón pueden competir en costo, su rendimiento necesita optimización para competir con biopolímeros de residuos lignocelulósicos analizados por Mujtaba et al. (2023).

Las conclusiones de Hale et al. (2020) aportan una visión global sobre la problemática de los microplásticos y su impacto en los ecosistemas acuáticos, sentando las bases para la adopción de alternativas biodegradables. Este artículo investiga cómo los microplásticos afectan la biodiversidad marina y propone los bioplásticos como una alternativa ecológica. Aunque el estudio no se centra en los bioplásticos, subraya la necesidad de buscar materiales de menor impacto ambiental, sugiriendo que los bioplásticos derivados de residuos agrícolas podrían contribuir a mitigar los efectos negativos de los microplásticos, especialmente en ambientes marinos sensibles.

En el contexto de la economía circular, el trabajo de Rosenboom et al. (2022) y Suchek et al. (2021) exploran las barreras y oportunidades para la integración de estos materiales en el mercado global. Estos artículos indican que la sostenibilidad de los bioplásticos depende tanto de incentivos económicos como

de la innovación tecnológica en el reciclaje de residuos agrícolas. Los autores sugieren que el uso de estos residuos no solo es viable económicamente, sino que también ofrece un beneficio ambiental significativo. Asimismo, proponen que una regulación adecuada y el desarrollo de tecnologías eficientes de biorrefinería podrían hacer a los bioplásticos más competitivos frente a sus contrapartes sintéticas.

A su vez, el estudio de George et al. (2021) destaca el ácido poliláctico (PLA) como un tipo prominente de bioplástico, señalando sus propiedades comparables a los plásticos convencionales como el polipropileno y el polietileno, junto con su biodegradabilidad, sugiriendo además que el mercado de los bioplásticos está creciendo rápidamente, con importantes inversiones de marcas conocidas, lo que indica un cambio hacia materiales sostenibles en diversos sectores, como el envasado y las aplicaciones médicas. Este trabajo también aborda las preocupaciones medioambientales a largo plazo asociadas a la contaminación por plásticos, subrayando la necesidad de la transición a los bioplásticos para mitigar estos problemas.

Brodin et al. (2017) y Confente et al. (2020) abordan la adopción de bioplásticos desde perspectivas complementarias: mientras que Brodin et al. analizan la viabilidad de la lignocelulosa como un recurso sostenible para la producción de bioplásticos mediante biorrefinería, lo cual reduciría los residuos agrícolas y la dependencia de materias primas fósiles, Confente y colaboradores enfocan su estudio en la aceptación del consumidor, destacando que la percepción de sostenibilidad, junto con estrategias de educación y certificaciones ambientales, es clave para fomentar la demanda de estos materiales. Ambos estudios subrayan la importancia de estrategias sostenibles, pero desde los ámbitos técnico y social, respectivamente, para facilitar la integración de los bioplásticos en el mercado.

CONCLUSIONES

El análisis de este artículo resalta la estructura y las dinámicas de desarrollo en la investigación sobre bioplásticos. La ausencia de Temas Motores y la baja densidad de los Temas Básicos sugieren que este campo está en una etapa de evolución, donde temas clave como la economía circular y la biodegradabilidad aún necesitan mayor integración y desarrollo para consolidarse como ejes centrales. Esta estructura abre oportunidades de investigación que podrían fortalecer el impacto de los bioplásticos en el contexto de sostenibilidad global y producción industrial. Asimismo, estos resultados reflejan una expansión global en la investigación de bioplásticos, donde las instituciones académicas incrementan su

producción en respuesta a la demanda de soluciones sostenibles. A su vez, este artículo revela diferentes estrategias y momentos de crecimiento entre las instituciones. La "Universidad de Sevilla" y "King Abdulaziz University" lideran en términos de crecimiento sostenido, mientras que las otras universidades presentan picos específicos que sugieren esfuerzos más esporádicos o temporales. Esta distribución en las tendencias resalta tanto el liderazgo sostenido de algunas instituciones como la contribución esporádica de otras, indicando una combinación de esfuerzos continuos y proyectos específicos dentro de la comunidad investigativa.

Esta revisión de la literatura subraya el potencial de los bioplásticos derivados de biomasa como una alternativa sostenible frente a los plásticos convencionales. Estudios como el de Coppola et al. (2021) destacan los beneficios ambientales y económicos de utilizar residuos agrícolas, mientras que otros, como Marichelvam et al. (2019), muestran limitaciones en bioplásticos de almidón, indicando la necesidad de optimización. La biomasa algal y los residuos lignocelulósicos son opciones prometedoras por su baja huella de carbono, según Chia et al. (2020) y Laurens et al. (2017). Además, la urgente necesidad de alternativas biodegradables es evidente en la investigación sobre microplásticos (Hale et al., 2020). Sin embargo, para que los bioplásticos compitan a nivel comercial, es esencial contar con incentivos económicos, avances en tecnología de biorrefinería y educación en sostenibilidad, como sugieren Rosenboom et al. (2022), Suchek et al. (2021) y Confente et al. (2020).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/J.JOI.2017.08.007>
- Arif, Z. U., Khalid, M. Y., Sheikh, M. F., Zolfagharian, A., & Bodaghi, M. (2022). Biopolymeric sustainable materials and their emerging applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(4). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108159>
- Brodin, M., Vallejos, M., Opedal, M. T., Area, M. C., & Chinga-Carrasco, G. (2017). Lignocellulosics as sustainable resources for production of bioplastics – A review. *Journal of Cleaner Production*, 162, 646–664. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.209>
- Bulla, M., Devi, R., Mishra, A. K., & Kumar, V. (2024). Bioplastic for a clean environment. *Bioplastics for Sustainability: Manufacture, Technologies, and Environment*, 47–76.



<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95199-9.00019-6>

- Castro-Criado, D., Abdullah, J. A. A., Romero, A., & Jiménez-Rosado, M. (2023). Stabilization and Valorization of Beer Bagasse to Obtain Bioplastics. *Polymers*, 15(8), 1877. <https://doi.org/10.3390/POLYM15081877/S1>
- Chan, J. X., Wong, J. F., Hassan, A., & Zakaria, Z. (2021). Bioplastics from agricultural waste. *Biopolymers and Biocomposites from Agro-Waste for Packaging Applications*, 141–169. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819953-4.00005-7>
- Chia, W. Y., Ying Tang, D. Y., Khoo, K. S., Kay Lup, A. N., & Chew, K. W. (2020). Nature's fight against plastic pollution: Algae for plastic biodegradation and bioplastics production. *Environmental Science and Ecotechnology*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.es.2020.100065>
- Confente, I., Scarpi, D., & Russo, I. (2020). Marketing a new generation of bio-plastics products for a circular economy: The role of green self-identity, self-congruity, and perceived value. *Journal of Business Research*, 112, 431–439. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.10.030>
- Coppola, G., Gaudio, M. T., Lopresto, C. G., Calabro, V., Curcio, S., & Chakraborty, S. (2021). Bioplastic from Renewable Biomass: A Facile Solution for a Greener Environment. *Earth Systems and Environment*, 5(2), 231–251. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00208-7>
- Fabris, M., Abbriano, R. M., Pernice, M., Sutherland, D. L., Commault, A. S., Hall, C. C., Labeeuw, L., McCauley, J. I., Kuzhiuparambil, U., Ray, P., Kahlke, T., & Ralph, P. J. (2020). Emerging Technologies in Algal Biotechnology: Toward the Establishment of a Sustainable, Algae-Based Bioeconomy. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00279>
- George, N., Debroy, A., Bhat, S., Singh, S., & Bindal, S. (2021). Biowaste to Bioplastics: An Ecofriendly Approach for a Sustainable Future. *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 8(3), 221–233. <https://doi.org/10.30491/JABR.2021.259403.1318>
- Hale, R. C., Seeley, M. E., La Guardia, M. J., Mai, L., & Zeng, E. Y. (2020). A Global Perspective on Microplastics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125(1). <https://doi.org/10.1029/2018JC014719>
- Ibrahim, N. I., Shahar, F. S., Hameed Sultan, M. T., Md Shah, A. U., Azrie Safri, S. N., & Mat Yazik, M. H. (2021). Overview of Bioplastic Introduction and Its Applications in Product Packaging.



- Coatings 2021, Vol. 11, Page 1423, 11(11), 1423. <https://doi.org/10.3390/COATINGS11111423>
- Laurens, L. M. L., Markham, J., Templeton, D. W., Christensen, E. D., Van Wychen, S., Vadelius, E. W., Chen-Glasser, M., Dong, T., Davis, R., & Pienkos, P. T. (2017). Development of algae biorefinery concepts for biofuels and bioproducts; a perspective on process-compatible products and their impact on cost-reduction. *Energy and Environmental Science*, 10(8), 1716–1738. <https://doi.org/10.1039/c7ee01306j>
- Marichelvam, M. K., Jawaid, M., & Asim, M. (2019). Corn and rice starch-based bio-plastics as alternative packaging materials. *Fibers*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/fib7040032>
- Mujtaba, M., Fernandes Fraceto, L., Fazeli, M., Mukherjee, S., Savassa, S. M., Araujo de Medeiros, G., do Espírito Santo Pereira, A., Mancini, S. D., Lipponen, J., & Vilaplana, F. (2023). Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: a review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics. *Journal of Cleaner Production*, 402. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136815>
- Nasir, N. N., & Othman, S. A. (2020). Application of Bioplastic Packaging In Industry. *Journal of Advanced Research in Materials Science*, 74(1), 19–28. <https://doi.org/10.37934/ARMS.74.1.1928>
- Ncube, L. K., Ude, A. U., Ogunmuyiwa, E. N., Zulkifli, R., & Beas, I. N. (2020). Environmental impact of food packaging materials: A review of contemporary development from conventional plastics to polylactic acid based materials. *Materials*, 13(21), 1–24. <https://doi.org/10.3390/ma13214994>
- Nisar, B., Paharvi, H. N., Gulzar, A., Rashid, S., Majeed, L. R., & Kamili, A. N. (2024). Bioplastics: solution to a green environment and sustainability. *Role of Green Chemistry in Ecosystem Restoration to Achieve Environmental Sustainability*, 261–269. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15291-7.00021-3>
- 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>
- Sedayu, B. B., Cran, M. J., & Bigger, S. W. (2019). A Review of Property Enhancement Techniques for Carrageenan-based Films and Coatings. *Carbohydrate Polymers*, 216, 287–302. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.04.021>



- Suchek, N., Fernandes, C. I., Kraus, S., Filser, M., & Sjögrén, H. (2021). Innovation and the circular economy: A systematic literature review. *Business Strategy and the Environment*, 30(8), 3686–3702. <https://doi.org/10.1002/bse.2834>
- Vigneswari, S., Kee, S. H., Hazwan, M. H., Ganeson, K., Tamilselvan, K., Bhubalan, K., Amirul, A. A., & Ramakrishna, S. (2024). Turning agricultural waste streams into biodegradable plastic: A step forward into adopting sustainable carbon neutrality. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(2), 112135. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2024.112135>
- Xiong, X., Yu, I. K. M., Tsang, D. C. W., Bolan, N. S., Sik Ok, Y., Igalavithana, A. D., Kirkham, M. B., Kim, K.-H., & Vikrant, K. (2019). Value-added chemicals from food supply chain wastes: State-of-the-art review and future prospects. *Chemical Engineering Journal*, 375. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.121983>