

Artículo de revisión

**Aplicaciones de la biotecnología en la  
industria textil desde un enfoque  
bibliométrico y narrativo**

Applications of Biotechnology in the Textile Industry from  
a Bibliometric and Narrative Perspective

**JESÚS ARIAS ESCOBAR<sup>1</sup>**

 <https://orcid.org/0000-0001-9422-1653>

**EDGARDO MARTIN FIGUEROA DONAYRE<sup>2</sup>**

 <https://orcid.org/0000-0001-7891-3334>

**MATEO QUISPE CAPAJAÑA<sup>3</sup>**

 <https://orcid.org/0000-0002-7193-4471>

Recibido: 10/01/2025

Aceptado: 20/03/2025

Publicado: 15/04/2025

<sup>1,2,3</sup>Facultad de Ingeniería y de Procesos Industriales, Universidad Nacional de Juliaca, Puno, Perú

E-mail: <sup>1</sup>[j.arias@unaj.edu.pe](mailto:j.arias@unaj.edu.pe), <sup>2</sup>[em.figueroa@unaj.edu.pe](mailto:em.figueroa@unaj.edu.pe), <sup>3</sup>[m.quispe@unaj.edu.pe](mailto:m.quispe@unaj.edu.pe)



## Resumen

La industria textil, pese a su relevancia económica, genera un considerable impacto ambiental por el uso intensivo de recursos y sustancias contaminantes. En respuesta a este desafío, la biotecnología se presenta como una alternativa sostenible para transformar los procesos productivos del sector. Este estudio tuvo como objetivo analizar las principales tendencias, actores y aplicaciones científicas de la biotecnología en la industria textil mediante una revisión bibliométrica complementada con un análisis narrativo. Se recopilaron 846 documentos de la base de datos Scopus entre 1985 y 2025, con un notable incremento en las publicaciones desde 2015 y un promedio de 62,86 citas por artículo. India lidera en volumen de publicaciones, seguida de China y Estados Unidos, con una marcada colaboración internacional. La *Universidade do Minho* (Portugal) destacó como la institución más productiva. Revistas como *Bioresource Technology* y autores como Cavaco-Paulo concentraron el mayor impacto académico. Las temáticas más relevantes incluyen fibras microbianas, enzimas para el tratamiento textil, colorantes naturales y biopolímeros, orientados hacia un modelo circular más sostenible. No obstante, la implementación industrial aún enfrenta barreras como costos elevados, variabilidad de calidad, durabilidad limitada y regulaciones poco claras. Pese a ello, los avances en biología sintética y genética proyectan un futuro alentador si se superan los desafíos técnicos y normativos existentes.

**Palabras clave:** biotecnología; industria textil; producción limpia; tecnologías sostenibles.

## Abstract

The textile industry, despite its economic significance, generates considerable environmental impact due to the intensive use of resources and polluting substances. In response to this challenge, biotechnology emerges as a sustainable alternative to transform the sector's production processes. This study aimed to analyze the main trends, key actors, and scientific applications of biotechnology in the textile industry through a bibliometric review complemented by narrative analysis. A total of 846 documents were collected from the Scopus database between 1985 and 2025, showing a notable increase in publications since 2015 and an average of 62.86 citations per article. India leads in publication volume, followed by China and the United States, with a strong pattern of international collaboration. The *Universidade do Minho* (Portugal) stood out as the most productive institution. Journals such as *Bioresource Technology* and authors like Cavaco-Paulo accounted for the highest academic impact. The most relevant themes include microbial fibers, enzymes for textile processing, natural dyes, and biopolymers, all geared toward a more sustainable circular model. Nevertheless, industrial implementation still faces barriers such as high costs, product quality variability, limited durability, and unclear regulations. Despite these challenges, advances in synthetic biology and genetics project a promising future if existing technical and regulatory hurdles can be overcome.

**Keywords:** biotechnology; textile industry; clean production; sustainable technologies.



## 1. Introducción

La industria textil representa uno de los sectores más dinámicos y estratégicos de la economía a nivel mundial, tanto por su contribución al producto bruto interno (PBI) de las naciones como por la generación de empleo en diferentes regiones del mundo (Akay et al., 2020). Según Ludmer et al (2024) y Manchada et al. (2020), esta industria no solo representa una base fundamental para las economías desarrolladas, sino también para los países en desarrollo, en donde genera millones de empleos directos e indirectos, contribuyendo al bienestar económico y social. Se estima que el mercado textil tendrá un valor de 2 123,720 de dólares estadounidenses en 2025 y crecerá hasta aproximadamente 4 016,500 de dólares en 2034, con un crecimiento anual compuesto del 7,35 %. Esto impulsado por fenómenos como el auge de la moda de consumo acelerado, la creciente demanda de productos técnicos y la incorporación de innovaciones en diseño y fabricación (Kulkarni y Shivarkar, 2025). La cadena de valor, abarca una amplia gama de actividades, que van desde la obtención de fibras, la producción de tejidos y telas, hasta los procesos de teñido, acabado, comercialización y distribución de prendas (Harsanto et al., 2023). Esta industria involucra a millones de trabajadores, no solo en la fabricación de las prendas, sino también en sectores de investigación, desarrollo y comercialización, con una interconexión que define su relevancia económica (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Luque, 2018). La globalización ha permitido que, aunque las principales fábricas de textiles se ubiquen en países de Asia, regiones de América, África y el sudeste asiático también han consolidado sus propios centros productivos, fortaleciendo sus economías y mejorando sus capacidades competitivas (Fernandez-Stark et al., 2022).

En los países desarrollados como Estados Unidos, Alemania, Francia, o Japón, la industria textil se ha sofisticado hacia procesos automatizados, sostenibilidad e innovación tecnológica. Mientras tanto, en regiones como América Latina, África y el sudeste asiático (China, Bangladesh Vietnam, India y Pakistán), esta industria sigue siendo una fuente vital de empleo y crecimiento económico, aunque enfrenta mayores desafíos en términos de eficiencia, sostenibilidad e infraestructura tecnológica (López y Rodríguez, 2016; Royal Europe Textiles, 2024). En América Latina, por ejemplo, países como México, Brasil, Colombia y Perú han centrado sus esfuerzos en el fortalecimiento de sus cadenas de producción mediante el impulso de fibras naturales de alta calidad, como el algodón, la alpaca y el lino, lo que no solo fomenta la competitividad y la identidad cultural local, sino que también contribuye a la diversificación de la oferta textil (Mordor Intelligence, 2024; Schteingart et al., 2024). En particular, Perú ha logrado posicionarse como un referente en la moda sostenible, al desarrollar y exportar fibras nativas de alta gama, como la alpaca y el algodón pima, que se destacan no solo por su calidad, sino también por su vínculo con tradiciones ancestrales y prácticas agrícolas sostenibles (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2021).

No obstante, este desarrollo ha venido acompañado de una creciente preocupación por los impactos ambientales que genera su cadena de producción. Desde el uso intensivo de agua, productos químicos tóxicos y energía, hasta la generación de residuos sólidos y emisiones de gases de efecto invernadero, el modelo lineal tradicional de producción y consumo textil ha contribuido significativamente al deterioro ambiental global (Bianco et al., 2023; Leal Filho et al., 2022). En este contexto, la biotecnología se presenta como una disciplina con alto potencial transformador al permitir el desarrollo de procesos industriales menos contaminantes, la creación de materiales biodegradables y la valorización de residuos en

nuevas materias primas. Por consiguiente, el objetivo del estudio fue identificar tendencias y mapear el desarrollo científico mediante una revisión bibliométrica y narrativa de la literatura científica sobre las aplicaciones de la biotecnología en la industria textil, considerando la productividad por países, instituciones, autores y las tendencias temáticas más relevantes.

## 2. Metodología

El estudio adopta un enfoque metodológico mixto basado en una revisión bibliométrica y narrativa, con el fin de sintetizar el conocimiento científico disponible. La combinación de ambos enfoques permite no solo cuantificar tendencias, actores clave y áreas emergentes, sino también profundizar en el análisis conceptual de los avances más relevantes.

La revisión bibliométrica se llevó a cabo a partir de una búsqueda estructurada en la base de datos Scopus, reconocida por su amplia cobertura de literatura científica y técnica a nivel internacional. La estrategia de búsqueda se construyó a partir de descriptores clave relacionados con la biotecnología y la industria textil, combinados mediante operadores booleanos. La ecuación empleada fue: ("*Textile Industry*" Or "*Textile Production*") And ("*Biotechnology*" Or "*Biotechnological Applications*"). En los campos de título, resumen y palabras clave, sin establecer restricciones de idioma ni de periodo temporal.

Una vez realizada la búsqueda, se exportaron los resultados en formato CSV para su procesamiento. Luego, se analizaron mediante dos softwares especializadas: VOSviewer para la visualización de redes de co-ocurrencia de palabras clave, coautorías, colaboración entre países y análisis de citas (van Eck y Waltman, 2010). Bibliometrix basado en R que incluye la interfaz gráfica Biblioshiny para el análisis estadístico de publicaciones, evolución temporal, revistas más productivas, autores influyentes y temas emergentes (Aria y Cuccurullo, 2017). De manera complementaria, se desarrolló una revisión narrativa que implica analizar de forma crítica los estudios previos relacionados con el área temática (The Edanz team, 2023). Para ello, se seleccionaron los artículos más citados y relevantes identificados en la revisión bibliométrica, no obstante, para este apartado la búsqueda se limitó únicamente a artículos originales y de revisión, en idioma inglés y español. Se excluyeron capítulos de libro, comunicaciones breves, resúmenes de conferencias y documentos sin acceso al texto completo. Adicionalmente, se realizó una búsqueda en la web con temas similares. La información extraída fue organizada temáticamente para describir los principales avances, ventajas técnicas, implicancias ambientales y desafíos de implementación de la biotecnología.

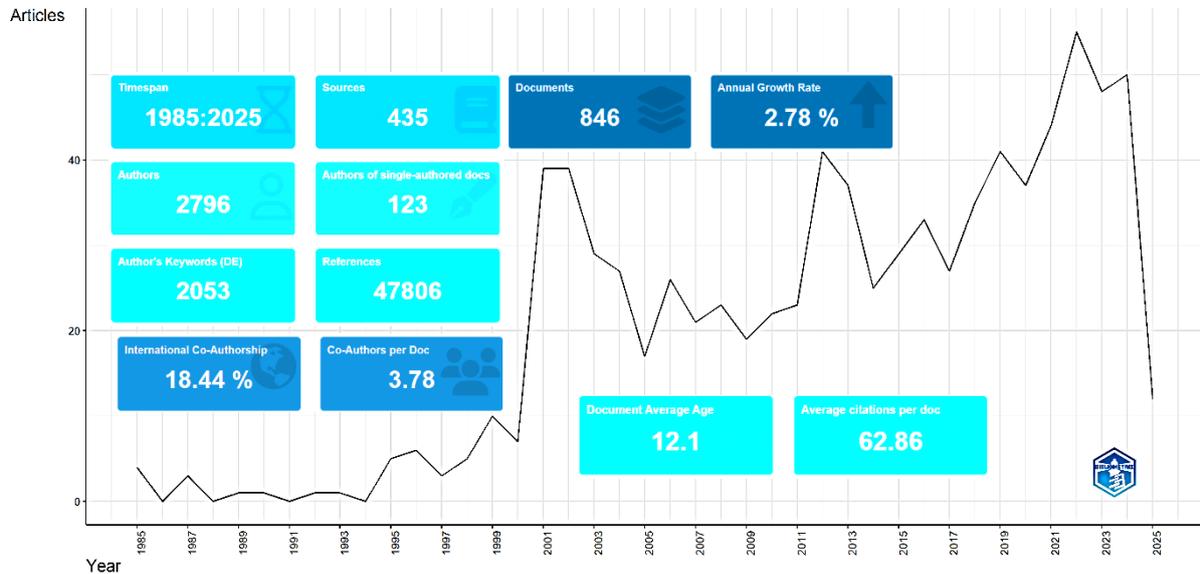
## 3. Resultados

### 3.1. Análisis bibliométrico

La Figura 1 muestra el análisis de la producción científica durante el período 1985–2025, donde se identificaron 846 documentos relacionados con la aplicación de la biotecnología en la industria textil. La producción anual muestra un crecimiento sostenido desde el año 2000, con una tasa de crecimiento promedio del 2,78 %, y una media de 62,86 citas por artículo, lo cual refleja una literatura científicamente relevante. La colaboración académica es destacable, con un promedio de 3,78 coautores por documento y un 18,44 % de coautoría internacional, evidenciando la naturaleza interdisciplinaria y global del campo.

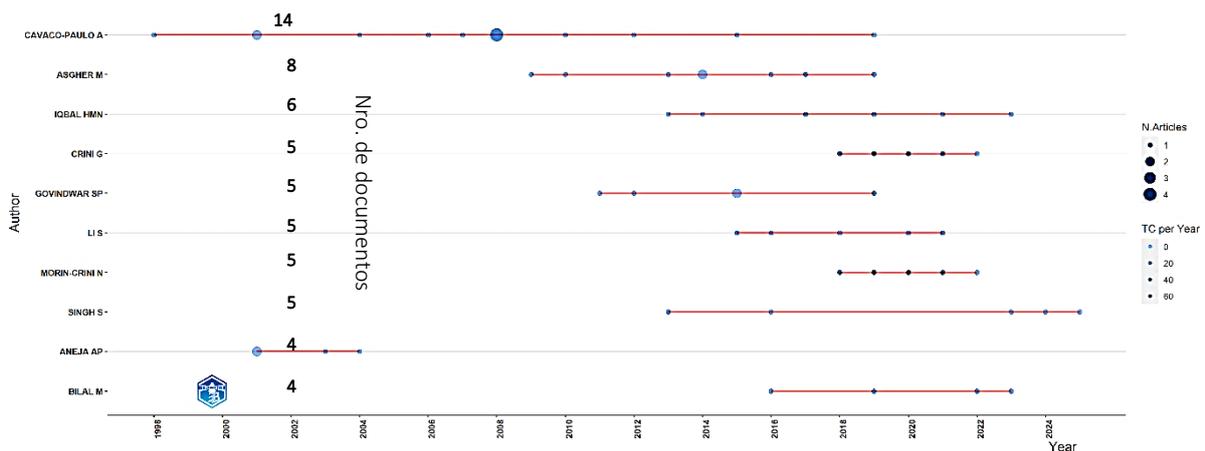


Figura 1  
Producción científica anual



El análisis de la producción científica por autor (Figura 2) revela que Cavaco-Paulo A. lidera el campo con 14 publicaciones desde el año 2000, seguido por Asgher M. e Iqbal H.M.N. Este último grupo ha mantenido una participación activa durante la última década, evidenciando una renovación en el interés por la aplicación de la biotecnología en la industria textil. Asimismo, la distribución de las publicaciones y su tasa de citación por año sugiere que autores como Govindwar S.P. y Bilal M. han contribuido significativamente al desarrollo y difusión del conocimiento reciente en el área.

Figura 2  
Producción científica de los autores a través del tiempo y su relevancia



El análisis de colaboración por países (Figura 3) presenta una distribución geográfica diversa, con fuerte protagonismo de Asia, Europa y América del Norte. El análisis muestra que India lidera tanto en volumen de publicaciones como en conectividad internacional, seguido por China, Pakistán y Estados Unidos. Las colaboraciones científicas tienden a organizarse en torno a polos regionales, destacando la fuerte cooperación entre países asiáticos y europeos. En contraste, América Latina, representada por Brasil y México, exhibe una participación aún

en crecimiento. Estas redes colaborativas han contribuido a consolidar un ecosistema científico global dinámico y en expansión, particularmente desde 2015 en adelante.

Figura 3

Producción científica de países a través del tiempo y su relevancia

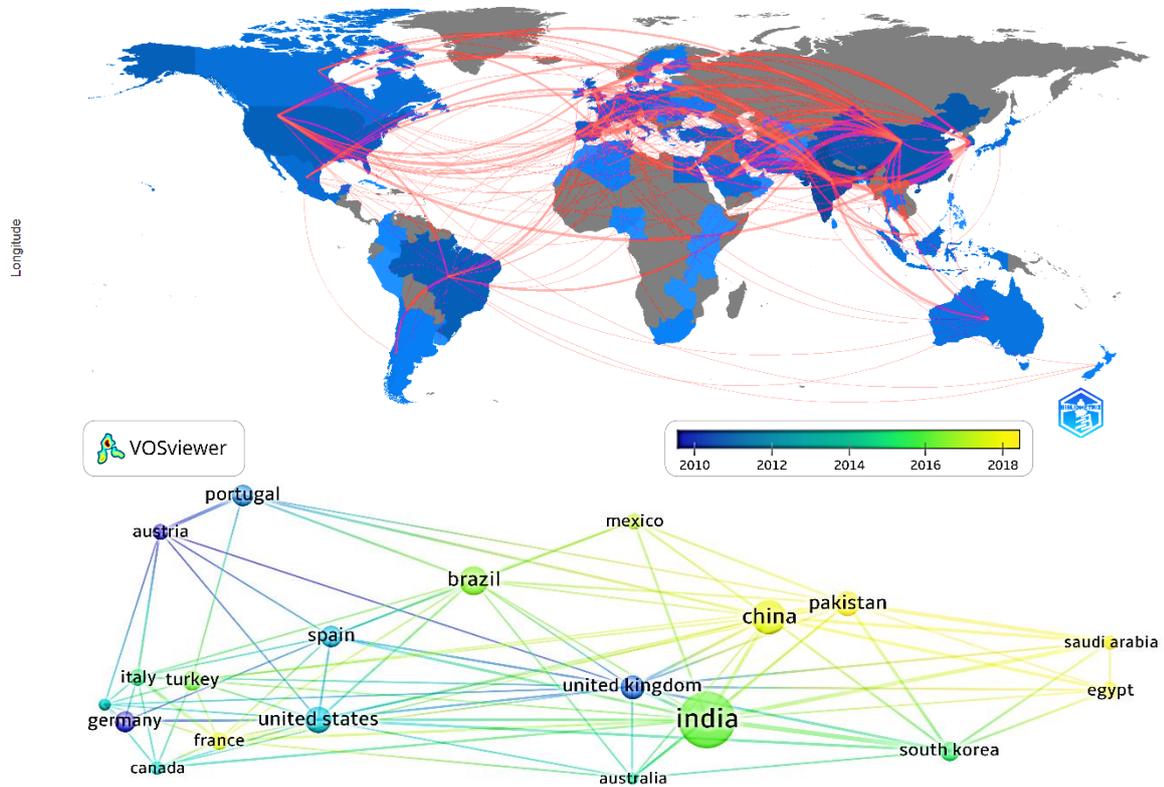
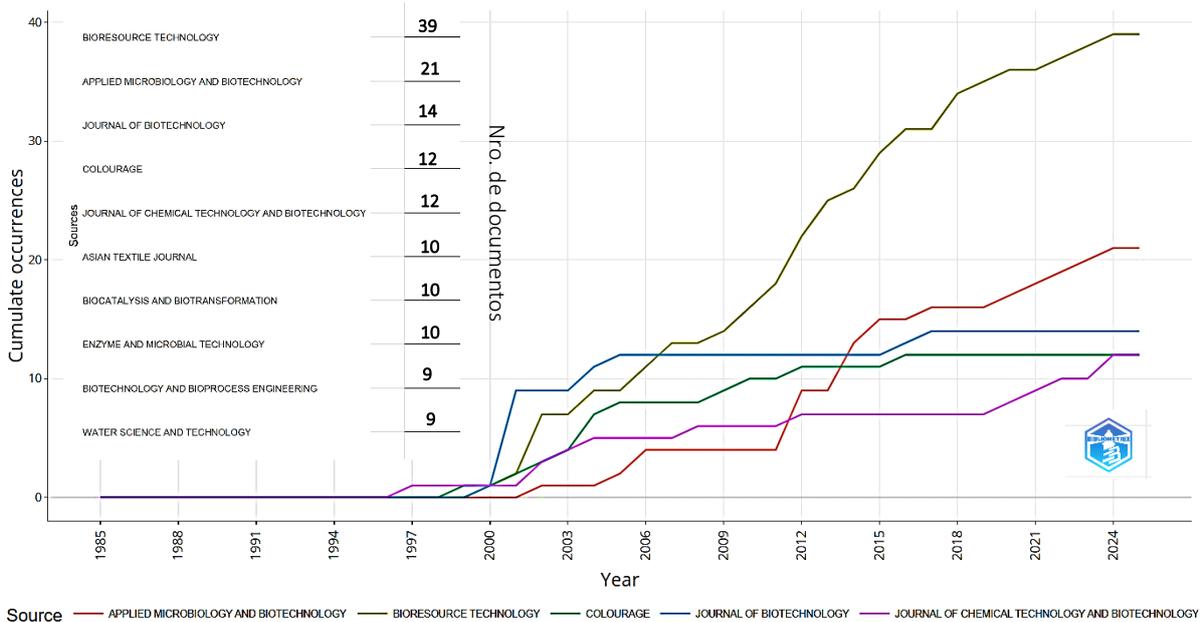


Figura 4

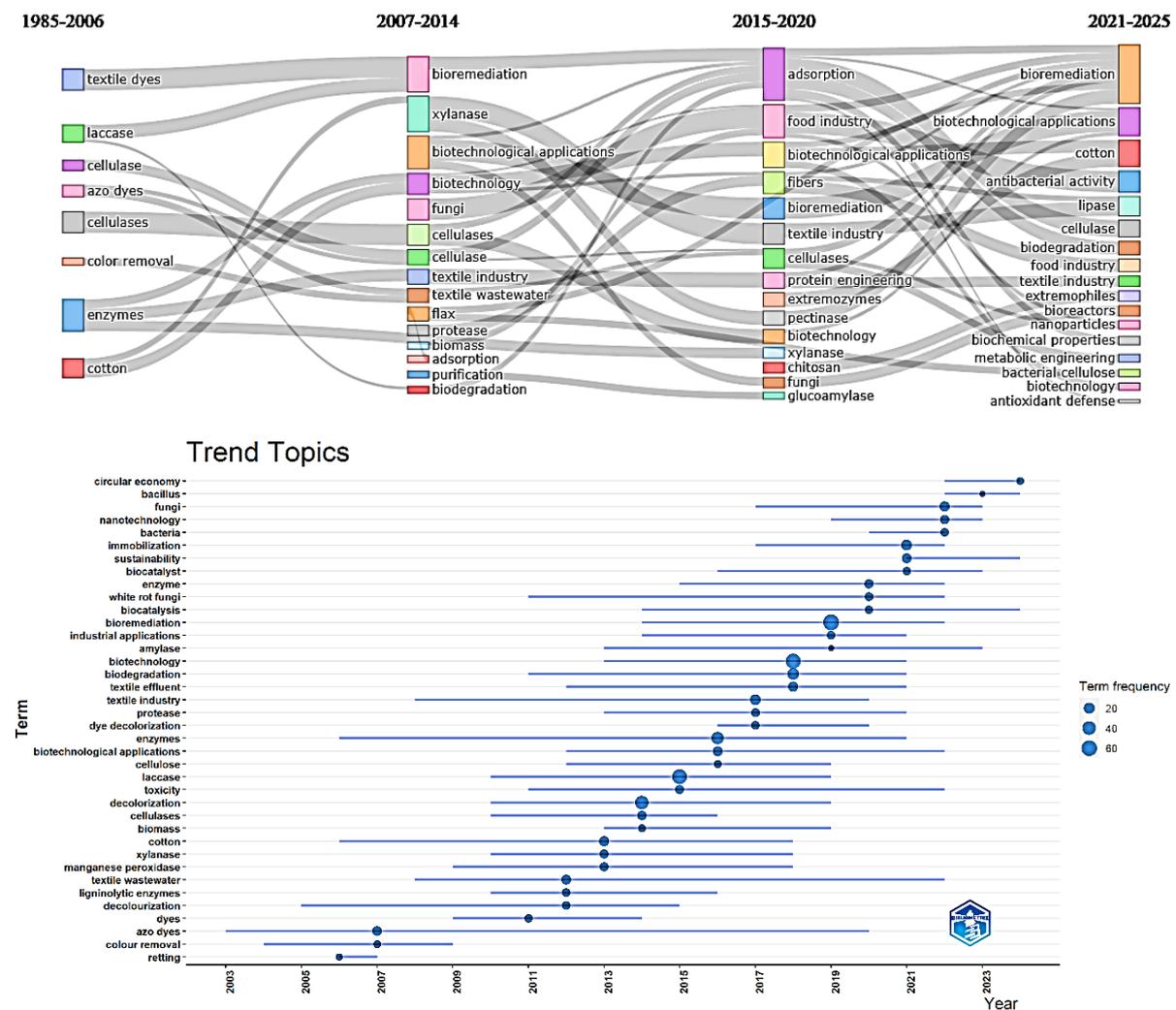
Producción científica de las revistas a través del tiempo y su relevancia





Las publicaciones más frecuentes y citadas se encuentran en revistas especializadas en biotecnología, ciencia de materiales y tecnología textil. La Figura 4 muestra que la revista *Bioresource Technology* ha sido la fuente con mayor número de publicaciones, con un total acumulado de 39 documentos, consolidándose como el principal referente en el área. Le siguen *Applied Microbiology and Biotechnology* con 21 publicaciones, y *Journal of Biotechnology* con 14. Se observa un incremento sostenido en la cantidad de publicaciones desde el año 2000, especialmente en revistas como *Bioresource Technology*, que muestra un crecimiento continuo hasta 2024. Revistas como *Colourage* y *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* también presentan una participación significativa, lo que sugiere un enfoque interdisciplinario que abarca tanto aspectos tecnológicos como industriales. En menor proporción, pero con contribuciones relevantes, se encuentran *Asian Textile Journal*, *Biocatalysis and Biotransformation*, y *Enzyme and Microbial Technology*, lo que confirma el carácter multidisciplinario del campo de estudio.

**Figura 5**  
Evolución temática de palabras claves a través del tiempo y su frecuencia

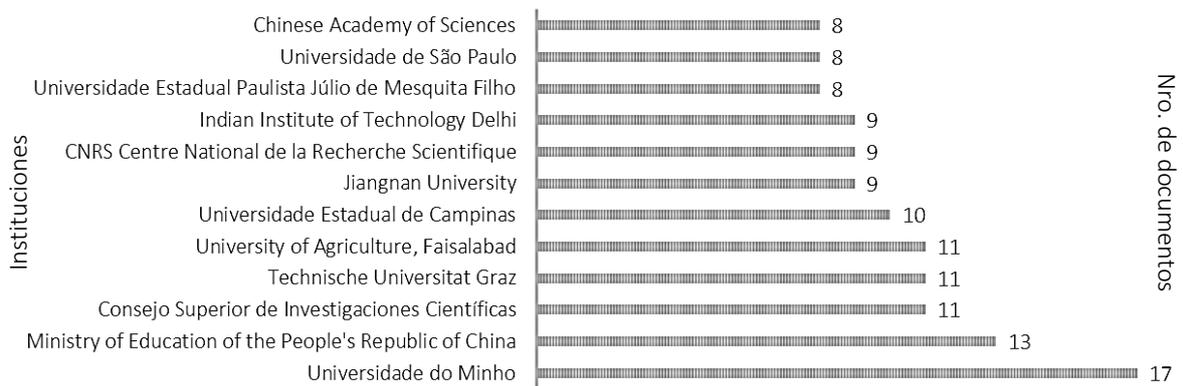


Mientras que la Figura 5, visualiza la evolución temática de las palabras clave con una transición progresiva. En los primeros años (1985–2006), predominaban términos relacionados

con la degradación de colorantes (*colorantes azoicos, celulasa, lacasas*), reflejando un interés por el tratamiento de efluentes. Posteriormente, entre 2007 y 2014, emergen conceptos como *biorremediación y aplicaciones biotecnológicas*, indicando una expansión hacia el uso de microorganismos y enzimas específicas. En el periodo 2015–2020, se incorporan temáticas más aplicadas como *adsorción, ingeniería de proteínas y quitosano*, y en los años más recientes (2021–2025) destacan términos como *celulosa bacteriana, nanopartículas, economía circular, biocatalizador, sostenibilidad, nanotecnología e ingeniería metabólica*, lo que evidencia una orientación hacia tecnologías sostenibles y funcionales.

**Figura 6**

*Producción científica de instituciones de acuerdo a la filiación*



En cuanto a las instituciones, la Figura 6 destaca en primer lugar la *Universidade do Minho*, con un total de 17 documentos, posicionándose como la institución más activa en este campo. Su liderazgo puede atribuirse al impulso que ha dado en los últimos años a líneas de investigación vinculadas al aprovechamiento de residuos y la valorización de subproductos en aplicaciones industriales. Le sigue el *Ministerio de Educación de la República Popular China* con 13 publicaciones, lo cual sugiere una fuerte política nacional de fomento a la investigación en biotecnología y sostenibilidad, reflejando el interés estratégico de China por liderar la transición hacia una economía circular. Asimismo, el *Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)* y otras instituciones como *Technische Universitat Graz* y *University of Agriculture, Faisalabad*, con 11 artículos cada una, evidencian un compromiso regional y temático para desarrollar tecnologías aplicables a contextos agrícolas e industriales.

### 3.2. Revisión narrativa

En los últimos años, las estrategias biotecnológicas en el sector textil se han ampliado, abarcando desde la creación de nuevos materiales hasta la mejora en la gestión de residuos a lo largo de toda la cadena de valor. Este enfoque ha impulsado el desarrollo de fibras microbianas y biomateriales sostenibles, los cuales tienen un impacto ambiental positivo al ofrecer alternativas ecológicas. Por ejemplo, utilizando microorganismos como *Gluconacetobacter xylinus*, se ha logrado producir celulosa bacteriana, un material con propiedades nanométricas que destaca por su resistencia mecánica, transparencia y biocompatibilidad (da Silva et al., 2021). Esta fibra, junto con materiales derivados del micelio de hongos como *Ganoderma lucidum*, ofrece soluciones alternativas al algodón y al cuero animal, con una menor carga ambiental y un alto potencial de compostabilidad (Amobonye



et al., 2023). Además, los procesos enzimáticos se presentan como una opción limpia frente a los métodos químicos tradicionales. Enzimas como celulasas, lipasas, pectinasas y lacasas permiten realizar operaciones de limpieza, blanqueo y acabado con mayor selectividad, lo que no solo protege las fibras, sino que también reduce significativamente el consumo de agua y energía (Cavaco-Paulo, 1998; Chandra y Chowdhary, 2015; Hasan et al., 2006; Kashyap et al., 2001).

Otro avance relevante es la fermentación microbiana, que permite la obtención de biopolímeros como ácido poliláctico y los polihidroxialcanoatos. Estos biopolímeros, al combinarse con fibras naturales, reducen la dependencia de insumos fósiles y mejoran la sostenibilidad del ciclo textil (Rahman, 2025). Además, la fermentación microbiana se orienta hacia la producción de aditivos funcionales naturales, como colorantes, biosurfactantes y antioxidantes, que reemplazan compuestos sintéticos de alto impacto ambiental. Microorganismos como *Streptomyces*, *Monascus* y *Talaromyces* producen pigmentos con buenas propiedades tintóreas y bajo nivel tóxico, mientras que biosurfactantes como las surfactinas mejoran la aplicabilidad de los acabados (Kramar y Kostic, 2022).

En el diseño de textiles funcionales, la integración de agentes bioactivos como quitosano, extractos vegetales o péptidos antimicrobianos proporciona propiedades específicas como protección antibacteriana, filtrado UV o liberación prolongada de compuestos. Estas características son especialmente útiles en la fabricación de prendas médicas, deportivas o inteligentes (Ghosh et al., 2025; Mocanu et al., 2013; Tanasa et al., 2023). En paralelo, la biotecnología aplicada a la producción agrícola de fibras, como el desarrollo de variedades transgénicas de algodón, ha permitido mejorar el rendimiento de los cultivos y reducir el uso de agroquímicos, promoviendo prácticas más sostenibles (Vitale et al., 2011). La utilización de marcadores moleculares y técnicas ómicas también facilita la trazabilidad genética de las fibras, asegurando su origen ecológico y fortaleciendo la transparencia en la cadena de valor textil (Gudi et al., 2024; Malik et al., 2014).

En el marco de una economía circular textil, la biotecnología ofrece herramientas para revalorizar subproductos agroindustriales y residuos postconsumo, promoviendo un modelo de producción regenerativa. A partir de residuos orgánicos como melaza o restos frutales, se pueden producir fibras microbianas y biopolímeros mediante fermentación, mientras que se investiga la degradación enzimática de polímeros sintéticos como el PET, permitiendo la recuperación de monómeros útiles para nuevos ciclos productivos (Butturi et al., 2025; Tripathi et al., 2024). Además, microorganismos seleccionados por su capacidad degradativa ayudan en la gestión ambiental de residuos textiles, removiendo contaminantes persistentes de efluentes líquidos y sólidos a través de procesos biológicos como la biosorción o la biotransformación (Bhatia et al., 2017) (Lim et al., 2010) (Noman et al., 2020). Estas estrategias, que también incluyen el uso de enzimas específicas para descomponer polímeros sintéticos y favorecer su reciclaje o compostaje, contribuyen a minimizar los impactos ambientales de la industria textil y se alinean con los principios de sostenibilidad y economía verde (Satta et al., 2024).

## 4. Discusión

La biotecnología es una disciplina que aplica organismos vivos y sus componentes a la creación de productos y procesos industriales, transformándose en una tecnología importante para diversos sectores económicos. Su enfoque integrado abarca áreas como la bioquímica,

microbiología y ciencias de la ingeniería, permitiendo la optimización de microorganismos y células cultivadas para usos específicos (Runi, 2019). Pero es importante destacar que existen varias ramas dentro de la biotecnología, donde la biotecnología verde, es aplicada a la agricultura y el medio ambiente; Y, la biotecnología blanca se dedica a aplicaciones industriales (Radhakrishnan, 2014).

A pesar de los avances en diversas áreas, persisten limitaciones que dificultan la adopción de estas innovaciones. Khan (2025) indica que uno de los principales obstáculos es el alto costo de producción, especialmente en procesos biotecnológicos como la fabricación de fibras biodegradables o la biocatálisis enzimática. Si bien se han logrado mejoras en la eficiencia mediante la optimización de microorganismos y enzimas, la escalabilidad continúa siendo un desafío, ya que muchos procedimientos aún no resultan rentables a nivel industrial. Para lograr su implementación a gran escala, es indispensable contar con una infraestructura adecuada y optimizar los procesos con el fin de reducir costos y garantizar su viabilidad comercial. Además, la variabilidad en la producción de materiales biotecnológicos y aditivos naturales puede generar problemas de consistencia y calidad en los productos finales, lo que limita su integración en cadenas de suministro estables. En términos de estabilidad y durabilidad, muchos de los productos biotecnológicos en la industria textil, como los recubrimientos bioactivos o los materiales biodegradables, enfrentan problemas de funcionalidad después de múltiples lavados o exposiciones a condiciones ambientales adversas. Para garantizar que estos productos sean viables en el mercado a largo plazo, es fundamental avanzar en el desarrollo de nuevas tecnologías de protección y microencapsulación que mejoren la durabilidad sin comprometer las propiedades bioactivas de los textiles.

En cuanto a las limitaciones regulatorias, Wessler et al. (2023) menciona que la industria enfrenta incertidumbres relacionadas con la regulación ambiental y la aceptación pública de algunos avances biotecnológicos, especialmente en lo que respecta a los organismos genéticamente modificados (OGM) y las técnicas de trazabilidad genética. Aunque la biotecnología agrícola ha mostrado un enorme potencial en la mejora de la calidad de las fibras, las preocupaciones sociales y políticas sobre el uso de OGM y la falta de acceso equitativo a estas tecnologías pueden obstaculizar su adopción global. A pesar de estas limitaciones, las perspectivas futuras son alentadoras. Las investigaciones en ingeniería genética y biología sintética prometen mejorar la eficiencia y productividad de los microorganismos utilizados en la producción de materiales, haciendo que los procesos sean más rentables y escalables.

## 5. Conclusiones

El análisis bibliométrico reveló un incremento de publicaciones científicas, particularmente a partir del año 2015, lo cual coincide con la consolidación de agendas globales orientadas a la sostenibilidad industrial, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 9 (industria, innovación e infraestructura) y el ODS 12 (producción y consumo responsables). Geográficamente, India lideró en volumen de publicaciones, seguida por China y Estados Unidos, destacando una fuerte colaboración internacional. La *Universidade do Minho* (Portugal) fue la institución más productiva, con 17 publicaciones, seguida por el Ministerio de Educación de China, el CSIC de España y universidades como *Technische Universität Graz* y *University of Agriculture Faisalabad*. Las redes de coocurrencia y los mapas de palabras clave mostraron una concentración temática en torno a términos como *enzymes*, *biodegradation*,



*biomaterials* y *sustainability*, lo que refleja una orientación hacia procesos más ecológicos, materiales alternativos y una economía textil circular.

Respecto a la revisión narrativa, se destaca que la biotecnología ofrece soluciones innovadoras que promueven la sostenibilidad, mediante la creación de materiales a partir de fuentes renovables y la optimización de procesos que reducen el impacto ambiental. No obstante, su consolidación como eje estratégico requiere enfrentar retos técnicos, económicos y normativos que aún persisten. Por lo tanto, el futuro de esta tecnología en el sector dependerá de avances en la mejora de procesos, reducción de costos, la mejora de la durabilidad de los productos y la superación de barreras regulatorias.

### Contribución de los autores

**J. Arias:** Conceptualización, desarrollo metodológico, administración del proyecto, software, supervisión, validación y redacción – revisión y edición del manuscrito. **E. M. Figueroa:** Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, desarrollo metodológico, validación y redacción del borrador original. **M. Quispe:** Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, desarrollo metodológico, visualización y redacción del borrador original.

### Conflictos de interés

Los autores manifiestan que no tienen conflictos de interés con respecto a esta publicación.

## 6. Referencias Bibliográficas

- Akay Ö., Gündüz S. and Gündüz F.F. (2020), The factor affecting textile production amounts of leading countries in textile export dynamic panel data analysis, *Nicel Bilimler Dergisi*, 2(2), 1-13. <https://dergipark.org.tr/en/pub/nicel/issue/58814/805763>
- Amobonye, A., Lalung, J., Awasthi, M. K., & Pillai, S. (2023). Fungal mycelium as leather alternative: A sustainable biogenic material for the fashion industry. *Sustainable Materials and Technologies*, 38(e00724), e00724. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00724>
- Aria, M., y 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>
- Bhatia, D., Sharma, N. R., Singh, J., & Kanwar, R. S. (2017). Biological methods for textile dye removal from wastewater: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 47(19), 1836–1876. <https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1393263>
- Bianco, I., De Bona, A., Zanetti, M., & Panepinto, D. (2023). Environmental impacts in the textile sector: A Life Cycle Assessment case study of a woolen undershirt. *Sustainability*, 15(15), 11666. <https://doi.org/10.3390/su151511666>
- Butturi, M. A., Neri, A., Mercalli, F., & Gamberini, R. (2025). Sustainability-oriented innovation in the textile manufacturing industry: Pre-consumer waste recovery and circular patterns. *Environments*, 12(3), 82. <https://doi.org/10.3390/environments12030082>





- Lim, S.-L., Chu, W.-L., & Phang, S.-M. (2010). Use of *Chlorella vulgaris* for bioremediation of textile wastewater. *Bioresource Technology*, 101(19), 7314–7322. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.04.092>
- López, P., y Rodríguez, P. M. (2016). El liderazgo de los países asiáticos en el sector del vestido: repercusiones para América Latina, *Tla-melaua: revista de ciencias sociales*, 40, 152-175. <https://goo.su/DixaY>
- Ludmer G., Schuffer, N., Schteingart, D., Isaak, P., e Ibarra, I. (2024, 22 de febrero). *Comparative history of the Argentine textile-apparel industry with the world*. Fundar. <https://goo.su/WpzufY>
- Luque, A. (2018). Elementos que favorecen la producción textil transnacional y relación con su responsabilidad social empresarial. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 14(26). <https://doi.org/10.18270/cuaderlam.v14i26.2610>
- Malik, W., Ashraf, J., Iqbal, M. Z., Khan, A. A., Qayyum, A., Ali Abid, M., Noor, E., Ahmad, M. Q., & Abbasi, G. H. (2014). Molecular markers and cotton genetic improvement: current status and future prospects. *TheScientificWorldJournal*, 607091. <https://doi.org/10.1155/2014/607091>
- Manchanda, S., Schlorke, S., y Schmitt, M. (2020). *Innovation, Investment, and Emerging Opportunities in Today's Textile and Apparel Value Chain*. EMCompass Emerging Markets. <https://goo.su/IO1WzkT>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2021, 16 de marzo). *Perú se mantiene como primer exportador de fibra de alpaca en el mundo por su alta calidad*. <https://goo.su/TAVg1D>
- Mocanu, G., Nichifor, M., Mihai, D., & Oproiu, L. C. (2013). Bioactive cotton fabrics containing chitosan and biologically active substances extracted from plants. *Materials Science & Engineering. C, Materials for Biological Applications*, 33(1), 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2012.08.007>
- Mordor Intelligence (2024). *Tamaño del mercado textil latinoamericano y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)*. <https://goo.su/gfuEG>
- Noman, M., Shahid, M., Ahmed, T., Niazi, M. B. K., Hussain, S., Song, F., & Manzoor, I. (2020). Use of biogenic copper nanoparticles synthesized from a native *Escherichia* sp. as photocatalysts for azo dye degradation and treatment of textile effluents. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 257(113514), 113514. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113514>
- Radhakrishnan, S. (2014). Application of Biotechnology in the Processing of Textile Fabrics. In: Muthu, S. (eds) *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing*. Textile Science and Clothing Technology. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-287-065-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-287-065-0_9)
- Rahman, M. (2025). Innovations and challenges in biodegradable textile materials: A review of PLA, PHA and natural fibers in sustainable fashion. *International journal of textile science*, 15(1), 1–4. <https://doi.org/10.5923/j.textile.20251401.01>

