

Avances relacionados con la enseñanza de la microbiología: un análisis bibliométrico

Advances related to the teaching of microbiology: a bibliometric analysis

Lesli Melissa Navarrete Reino¹

lmelissanreino@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-7991-3090>

Correspondencia: lmelissanreino@gmail.com

Artículo de Revisión

Recibido: 29 de septiembre del 2025

Aceptado: 6 de noviembre del 2025

Publicado: 20 de noviembre del 2025

I. Bioquímica Farmacéutica. Profesional Independiente. Riobamba, Ecuador.

Cómo citar este artículo:

Navarrete, L. (2025). Avances relacionados con la enseñanza de la microbiología: un análisis bibliométrico. *Revista Colincing de Estudios Multidisciplinarios*, 1(2), e10. <https://doi.org/10.61347/rcem.v1i2.e10>

Copyright:

Derechos de autor 2025 Lesli Melissa Navarrete Reino.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 (CC BY-NC 4.0)

Resumen: El proceso de enseñanza de la biología de los microorganismos es fundamental para la formación científica al promover la comprensión de procesos biológicos esenciales y su impacto en ámbitos como salud, industria, medio ambiente y medicina. El presente estudio tuvo como objetivo realizar un análisis bibliométrico orientado a caracterizar la producción científica relacionada con la enseñanza de la biología de los microorganismos. Para ello, se realizó una búsqueda sistemática en la base de datos Scopus, recopilando 702 documentos publicados entre 1943 y 2025, los cuales fueron analizados mediante indicadores bibliométricos y técnicas de visualización de redes con la herramienta Bibliometrix. Los resultados evidenciaron un crecimiento sostenido de la producción científica, especialmente a partir de 2015, reflejando un aumento del interés por la innovación pedagógica en el ámbito microbiológico. Las revistas *Journal of Microbiology and Biology Education* y *Zhurnal Mikrobiologii Epidemiologii* se consolidaron como las fuentes más influyentes, mientras que instituciones como la Universidade de São Paulo y Heilongjiang University destacan por su productividad. En el ámbito geográfico, China y Estados Unidos lideran la investigación y mantienen fuertes vínculos de colaboración internacional. El análisis temático reveló un enfoque en tres áreas principales: temas básicos centrados en la enseñanza de la microbiología, temas especializados en aspectos clínicos y biomédicos, y temas emergentes vinculados al uso de inteligencia artificial y aprendizaje automático. En conjunto, los hallazgos permiten comprender la evolución y proyección futura de la educación en biología de los microorganismos a nivel científico global.

Palabras clave: Aprendizaje, análisis bibliométrico, bibliometrix, biología de los microorganismos, enseñanza, microbiología.

Abstract: *The teaching of microbiology is essential for scientific training, as it promotes the understanding of fundamental biological processes and their impact on areas such as health, industry, environment, and medicine. This study aimed to conduct a bibliometric analysis to characterize the scientific production related to the teaching of microbiology. A systematic search was carried out in the Scopus database, collecting 702 documents published between 1943 and 2025, which were analyzed using bibliometric indicators and network visualization techniques through the Bibliometrix tool. The results revealed a sustained growth in scientific production, particularly since 2015, reflecting a growing interest in pedagogical innovation within the microbiological field. The *Journal of Microbiology and Biology Education* and *Zhurnal Mikrobiologii Epidemiologii* were identified as the most influential sources, while institutions such as the Universidade de São Paulo and Heilongjiang University stood out for their productivity. Geographically, China and the United States lead research efforts and maintain strong international collaboration networks. The thematic analysis revealed three main focus areas: fundamental topics centered on microbiology education, specialized topics in clinical and biomedical aspects, and emerging topics related to the use of artificial intelligence and machine learning. Overall, the findings provide insight into the evolution and future projection of microbiology education within the global scientific context.*

Keywords: *Learning, bibliometric analysis, bibliometrix, biology of microorganisms, teaching, microbiology.*

Introducción

La enseñanza de la biología de los microorganismos constituye un componente esencial en la formación científica de estudiantes de áreas como microbiología, biotecnología, medicina, veterinaria y ciencias ambientales. El conocimiento sobre microorganismos no solo aporta la comprensión de procesos biológicos fundamentales, sino que también permite enfrentar problemáticas críticas en salud pública, agricultura, industria alimentaria y otros sectores estratégicos (Qumsani, 2024).

En este contexto, la enseñanza comprende el conjunto de prácticas, métodos, recursos y entornos mediante los cuales los educadores transmiten conocimientos y competencias, y los estudiantes los internalizan, construyen o transforman (González, 2023; Opara et al., 2023; Guzmán & Castillo, 2022). En complemento, la microbiología, en particular, estudia la diversidad y relevancia de seres microscópicos como bacterias, hongos, protozoos, algas y virus (Adams et al., 2015), siendo una disciplina dinámica y transversal en la educación científica y en diversos campos profesionales (Jandu, 2019).

Recientes investigaciones abordan cómo los estudiantes y docentes interactúan en el proceso de enseñanza-aprendizaje de microorganismos. Fidiastuti et al. (2024) evaluaron una intervención pedagógica que mejoró la alfabetización microbiológica y la percepción del papel de los microbios en la sostenibilidad. En la misma línea, Xu et al. (2024) analizaron por diez años el currículo de microbiología en odontología, destacando mejoras en habilidades prácticas y rendimiento académico. Asimismo, Tristán-Ramos et al. (2024) realizaron un análisis bibliométrico sobre educación en resistencia a antibióticos, evidenciando que, aunque existe un interés creciente en el tema, la cantidad de investigaciones específicas en educación ha sido limitada.

A pesar de los continuos avances, existe la necesidad de un análisis bibliométrico integral que permita comprender la evolución global de la producción científica en la enseñanza de la biología de microorganismos, identificando los actores clave, las redes de colaboración existentes y las tendencias temáticas predominantes en el área. La dispersión de la información dificulta la obtención de un panorama claro y actualizado que oriente futuras investigaciones con sentido estratégico basado en evidencia.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es realizar un análisis bibliométrico para caracterizar la producción científica sobre la enseñanza en biología de los microorganismos. Se plantean las siguientes preguntas de investigación: 1) ¿Cómo ha evolucionado la producción científica en el campo de la microbiología a lo largo de los años?, 2) ¿Qué revistas, instituciones y países destacan por su liderazgo en la investigación microbiológica?, 3) ¿Qué redes de colaboración se han conformado en torno al estudio de la microbiología? y 4) ¿Cuáles son los términos más frecuentes y las tendencias temáticas identificadas en la literatura científica relacionada con la microbiología?

Los resultados buscan ofrecer una visión integral y actualizada que permita identificar vacíos temáticos y contribuir al diseño de políticas educativas, currículos y futuras líneas de investigación orientadas a fortalecer la enseñanza de los microorganismos de manera más eficiente e inclusiva.

Metodología

El presente estudio adoptó métodos bibliométricos orientados al análisis de la producción científica relacionada con la enseñanza de la biología de los microorganismos. La bibliometría, encargada del análisis cuantitativo de grandes volúmenes de datos científicos (Donthu et al., 2021), permitió identificar los patrones de publicación, la evolución temporal del campo, las redes de colaboración institucional e internacional, así como los autores, revistas y países más influyentes.

Para la recuperación de la información se utilizó la base de datos Scopus debido a su amplia cobertura multidisciplinaria de literatura científica y su relevancia en estudios bibliométricos de alta calidad (Pranckutė, 2021). Se consideraron publicaciones científicas originales, artículos de revisión, capítulos de libro y documentos de conferencias que abordaran de manera explícita la enseñanza o la didáctica de la biología de los microorganismos. Además, no se limitó la búsqueda por idioma o lapso temporal.

La estrategia de búsqueda se diseñó considerando dos grupos conceptuales principales: “biología de los microorganismos”, “enseñanza/aprendizaje”. La búsqueda se realizó en el campo de título (“TITLE”), centrándose en la recuperación de documentos que aborden una relación directa y explícita con el tema. En la tabla 1 se presenta la cadena de búsqueda utilizada, incluyendo el total de estudios recuperados, los cuales constituyen el corpus bibliográfico objeto de análisis.

Tabla 1

Estrategia de búsqueda y número de estudios recuperados.

Cadena de búsqueda	Estudios
(TITLE ("biology of microorganisms" OR "microbial biology" OR "microbiology" OR "microorganisms" OR "microbes") AND TITLE (teach* OR learn* OR educat* OR "teaching methods" OR "learning process" OR "educational approach*" OR "pedagogy" OR "active learning" OR "science education" OR "didactics" OR "instruction" OR "educational practices")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ch"))	702

El procesamiento y análisis de los datos bibliográficos se realizaron mediante el paquete Bibliometrix de R (Aria & Cuccurullo, 2017), utilizando su interfaz web Biblioshiny (versión 5.0), que facilita la exploración interactiva de indicadores bibliométricos y de redes de coautoría. Este software permitió calcular métricas de productividad, impacto y colaboración, así como generar mapas de coocurrencia de palabras clave y tendencias temáticas (Büyükkıdık, 2022).

Bibliometrix y Biblioshiny son herramientas de código abierto ampliamente aceptadas en la comunidad científica para el desarrollo de análisis bibliométricos en diversas áreas del conocimiento (Abbas et al., 2022; Azizoğlu et al., 2024; Campra et al., 2022; Chen et al., 2022; Lazarides et al., 2025; Lei et al., 2025; Pervez et al., 2025; Shaikh & Khan, 2025; Zafrullah et al., 2024)

Resultados

Evolución de la producción científica de la microbiología

El análisis realizado en R Studio mediante la interfaz Biblioshiny de la producción científica se resume en una descripción estadística presentada en la tabla 2. Se evidencia que el estudio sobre la enseñanza de la biología de los microorganismos presenta una trayectoria sostenida a lo largo del tiempo, entre 1943-2025, con un crecimiento anual promedio del 5.46%. Se identificaron 699 documentos procedentes de 373 fuentes, la participación de 2.175 autores y un promedio de 3.81 coautores por documento. Se destaca también la predominancia de artículos originales (77.5%) sobre revisiones, conferencias y capítulos de libro, revelando una producción orientada principalmente a la generación de nuevo conocimiento (ver figura 1).

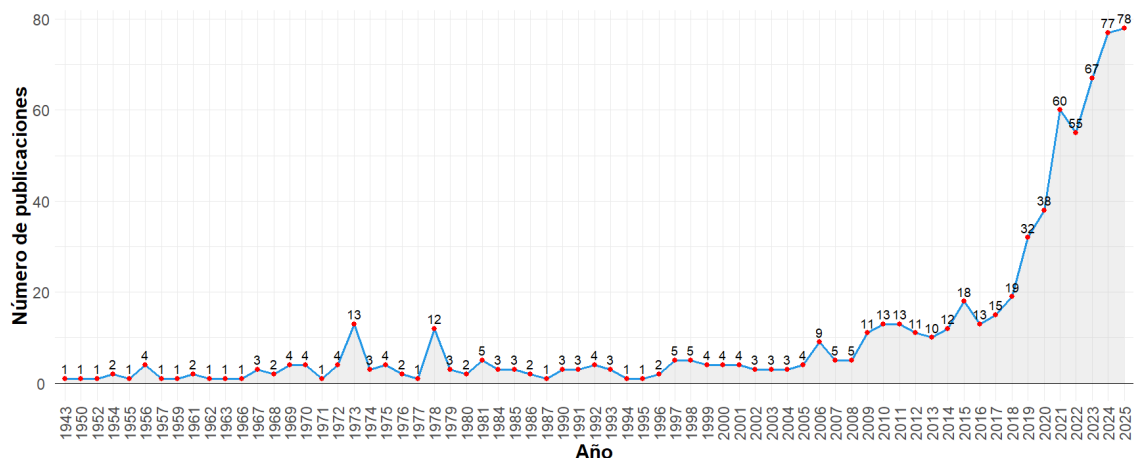
Tabla 2

Análisis descriptivo de los estudios.

Descripción	Resultados
<i>Información principal sobre los datos</i>	
Período	1943-2025
Fuentes (revistas, libros, etc.)	373
Documentos	699
Duplicados	3
Tasa de crecimiento anual (%)	5.46
Promedio de citas por documento	9.17
Referencias	0
<i>Autores</i>	
Total de autores	2175
Palabras clave del autor	4935
<i>Colaboración de autores</i>	
Documentos de un solo autor	170
Coautores por documento	3.81
Coautorías internacionales (%)	14.02
<i>Tipos de documentos</i>	
Artículo	542
Revisiones	64
Conferencias	72
Capítulos de libro	21

Figura 1

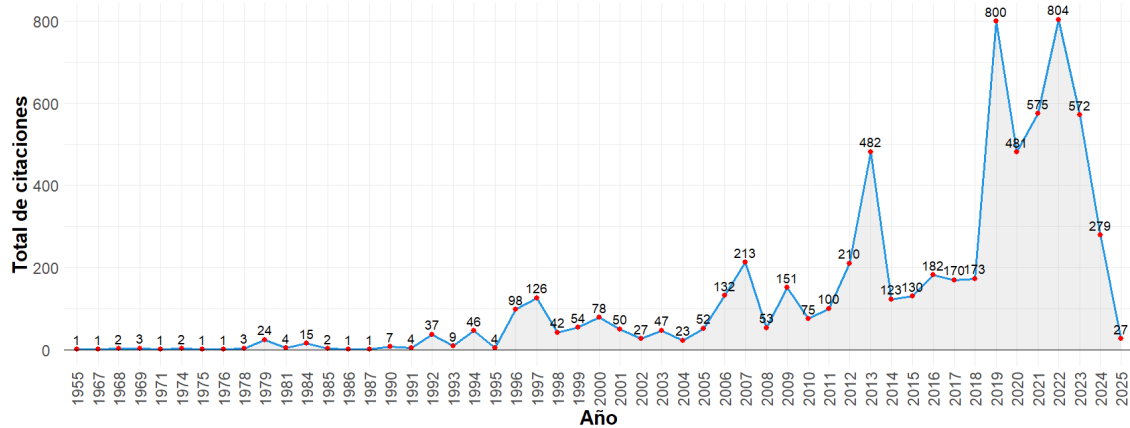
Publicación científica anual



En cuanto al total de citas por año, los datos de la figura 2 reflejan una dinámica similar, mientras los primeros trabajos tuvieron escasa visibilidad académica, a partir de la década de 1990 se registra un incremento notable en el impacto de las publicaciones, con picos de citación relevantes en 2007, 2013, 2019 y 2022. No obstante, se observa un leve descenso de citas en 2024 y 2025, lo cual responde al efecto temporal de las publicaciones recientes, que aún no han alcanzado visualización suficiente para mejorar los indicadores de citación.

Figura 2

Citas totales por año.



Revistas, instituciones y países destacados por su liderazgo en la investigación microbiológica

El análisis de publicación por revistas (ver tabla 3), destaca el *Journal of Microbiology and Biology Education* como el principal canal de difusión del campo, con el mayor número de publicaciones y un posicionamiento consolidado en el segundo cuartil (Q2). Asimismo, revistas de alto impacto como *Frontiers in Microbiology* (Q1) y *BMC Medical Education* (Q1) evidencian la transversalidad del tema, al integrar perspectivas tanto biológicas como pedagógicas dentro de publicaciones de prestigio internacional. La coexistencia de revistas de distintos cuartiles y ámbitos indica un campo interdisciplinario que se encuentra en expansión hacia foros académicos más amplios, diversificando sus escenarios de publicación e impacto.

Tabla 3

Revistas más destacadas en el campo.

Revista	Nro. de Publicaciones	Cuartil	Citaciones	h-index
Journal Of Microbiology And Biology Education	44	Q2	167	7
Zhurnal Mikrobiologii Epidemiologii I Immunobiologii	21	Q4	-	-
Fems Microbiology Letters	15	Q3	101	6
Frontiers In Microbiology	15	Q1	358	8
Japanese Journal Of Bacteriology	13	-	-	-

American Biology Teacher	9	Q3	30	3
Journal Of Biological Education	9	Q2	47	4
Medical Science Educator	8	Q2	44	4
Bmc Medical Education	7	Q1	90	5
Microbe	7	-	34	3

En cuanto a las instituciones (ver tabla 4), la producción se distribuye entre universidades de diversas regiones a escala mundial. La *Universidade de São Paulo* lidera con el mayor número de contribuciones (17), lo que evidencia el protagonismo de América Latina. Por su parte, universidades asiáticas como *Heilongjiang* (11), *Chongqing Medical* (8) y *Jiangnan* (8) muestran una participación creciente, reflejando la expansión de la investigación educativa en biología de los microorganismos en esa región. Asimismo, destacan *The University of British Columbia* (11) y la Universidad Complutense de Madrid (10) como importantes productoras de literatura científica en el área.

Tabla 4

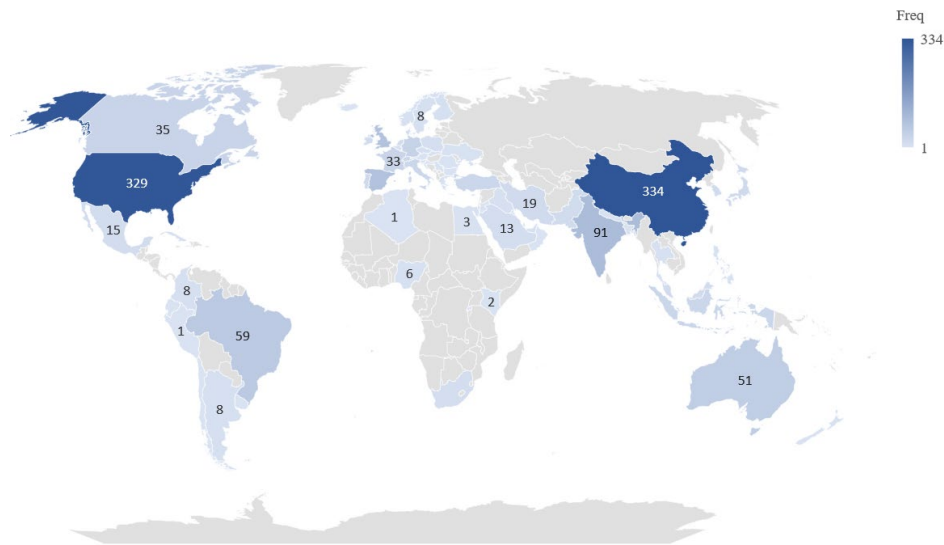
Instituciones más destacadas.

Institución	Nro. de Publicaciones	País
Universidade De São Paulo	17	Brasil
Heilongjiang University	11	China
The University Of British Columbia	11	Canadá
Universidad Complutense De Madrid	10	España
Chongqing Medical University	8	China
Jiangnan University	8	China
Northeastern University	8	Estados Unidos
Universitas Pendidikan Indonesia	8	Indonesia
University Of The Free State	8	Sudáfrica
Universidad De Castilla-La Mancha	7	España

En la figura 3 se observa que la producción científica se encuentra liderada por China y Estados Unidos, que concentran conjuntamente más de la mitad de los estudios identificados, posicionándose como los principales impulsores de la investigación global en el área. Se destacan India, España, Reino Unido y Brasil, que aportan activamente a la investigación, consolidando una red de países con alta productividad y diversidad temática. La presencia de más de sesenta países con contribuciones, aunque muchas de ellas marginales, demuestra que el estudio del proceso enseñanza-aprendizaje de los microorganismos ha alcanzado un alcance verdaderamente global.

Figura 3

Producción científica por países.

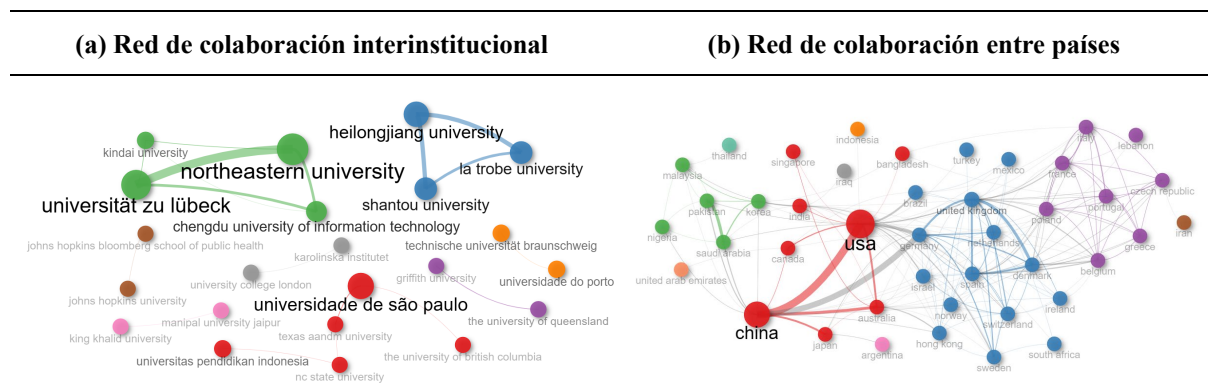


Redes de colaboración en torno al estudio de la microbiología

La red de colaboración institucional (ver figura 4a) evidencia la conformación de comunidades bien definidas, donde destacan *Northeastern University*, *Universidade de São Paulo* y *Heilongjiang University* como los nodos de mayor centralidad, reflejando su papel protagónico en la generación y conexión de conocimiento. Por su parte, la red de colaboración entre países (ver figura 4b) revela una estructura multinodal dominada por China y Estados Unidos, cuyos grandes nodos y numerosas aristas reflejan su alta producción científica y su centralidad en las colaboraciones internacionales.

Figura 4

Redes de colaboración.



Términos más frecuentes y tendencias temáticas en la literatura científica relacionada con la microbiología

El análisis de los términos más recurrentes (ver figura 5) evidencia una fuerte convergencia entre la microbiología y los procesos educativos, reflejada en la alta frecuencia de términos como *microbiology*, *education*, *teaching* y *learning*. Además, la presencia de términos como *curriculum*, *students* y *medical*

education indica que gran parte de la literatura se enfoca en entornos académicos, especialmente en la educación médica y universitaria. Por otro lado, el surgimiento de expresiones como *machine learning* y *deep learning* sugiere una progresiva incorporación de herramientas de inteligencia artificial en los procesos de enseñanza.

Figura 5

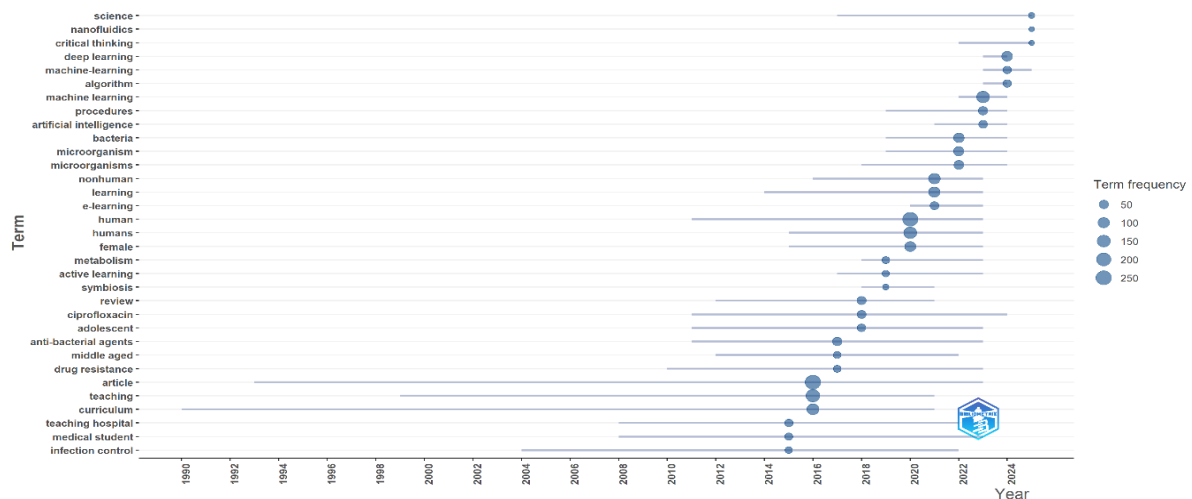
Nube de palabras de términos frecuentes.



Los temas en tendencia (ver figura 6) de los últimos años muestran que inicialmente, los tópicos predominantes se concentraban en enfoques tradicionales, como *teaching hospital*, *medical student*, *curriculum e infection control*, evidenciando el carácter clínico y formativo de la investigación previa. No obstante, a partir de 2019 se advierte un cambio sustancial orientado hacia la incorporación de tecnologías avanzadas, con la irrupción de términos como *machine learning*, *artificial intelligence* y *deep learning*, los cuales se consolidan especialmente entre 2023 y 2025. Este cambio refleja una evolución conceptual hacia modelos educativos basados en análisis automatizados, simulación y aprendizaje adaptativo. Asimismo, la aparición reciente de *critical thinking* y *science* como tópicos proyectados a 2025 sugiere un interés creciente por potenciar habilidades cognitivas superiores en la enseñanza de la biología de los microorganismos.

Figura 6

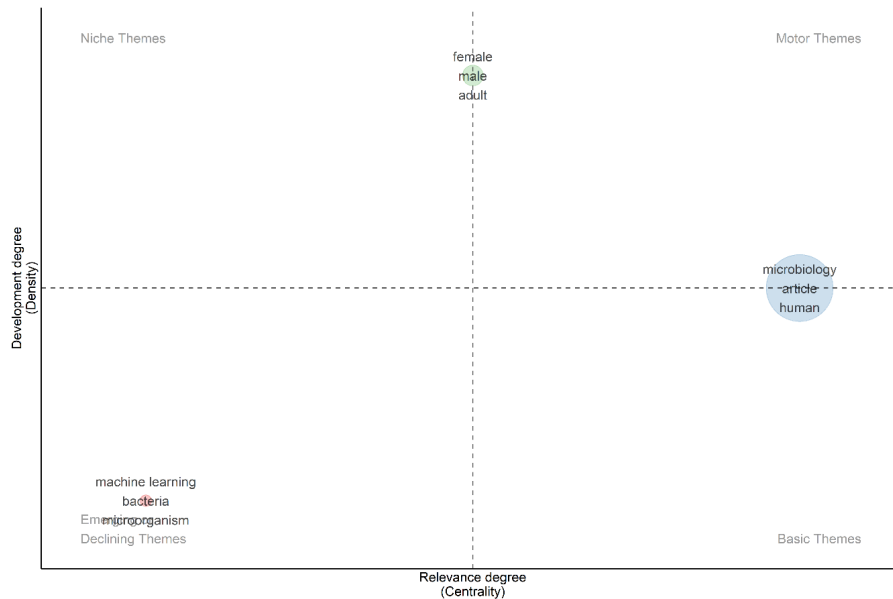
Temas en tendencia de la última década.



El mapa temático (ver figura 7) revela que las investigaciones se estructuran principalmente en torno a temas básicos y consolidados, destacando temáticas clave como *microbiology*, *article* y *human*. En contraste, los temas relacionados con *machine learning*, *bacteria* y *microorganism* aparecen en el cuadrante de temas emergentes o en declive. Finalmente, conceptos como *female*, *male* y *adult* se posicionan como temas de nicho.

Figura 7

Mapa temático de palabras clave.



Se evidencian tres clústeres (ver tabla 5) que representan las principales perspectivas investigativas dentro del campo. Los temas básicos, centrados en términos como *microbiology*, *education*, *teaching* y *curriculum*, configuran el eje conceptual del campo, al abordar la enseñanza de la microbiología desde enfoques pedagógicos y curriculares. En contraste, los temas especializados giran en torno a aspectos clínicos y biomédicos, reflejando la aplicación del conocimiento microbiológico en contextos médicos formativos. Finalmente, los temas emergentes, liderados por *machine learning*, *deep learning* y *bioinformatics*, revelan una tendencia reciente hacia la integración de tecnologías de inteligencia artificial en la enseñanza y análisis de datos microbiológicos.

Tabla 5

Agrupación de palabras clave según clústeres y temas.

Área Temática	Clúster	Palabras clave recurrentes	Documentos seminales
Temas Básicos (Basic themes)	microbiology	microbiology, article, human, education, humans, teaching, nonhuman, medical education, learning, curriculum	Brockman et al. (2020) Blewett y Kisamore (2009) Scalas et al. (2017) Soares et al. (2024) Vieira (2025)

Temas Especializados (Niche themes)	female	female, male, adult, major clinical study, antibiotic resistance, escherichia coli, teaching hospital, staphylococcus aureus, child, anti-bacterial agents	Abdipour et al. (2025) Raja (2007) Forouzani et al. (2023) Erdem et al. (2008) Le et al. (2024)
Temas emergentes (Emerging themes)	machine learning	machine learning, bacteria, microorganisms, deep learning, learning systems, algorithm, machine-learning, prediction, bioinformatics	Zhang et al. (2022) Rani et al. (2022) Ma et al. (2023) Kulwa et al. (2022) Zhang et al. (2023)

Conclusiones

El análisis bibliométrico revela un crecimiento sostenido en la producción científica sobre la enseñanza de la biología de los microorganismos, con una tendencia ascendente particularmente marcada en los últimos años, siendo el 2025 el más destacado. Este aumento refleja el creciente interés académico por fortalecer la didáctica de la biología de los microorganismos y favorecer su integración con innovaciones pedagógicas y tecnológicas.

En cuanto a los actores más influyentes, destacan revistas consolidadas como el *Journal of Microbiology and Biology Education* y *Frontiers in Microbiology*, junto con instituciones líderes como la *Universidade de São Paulo*, *Northeastern University* y *Heilongjiang University*. Asimismo, destacan países de alta productividad científica, como China y Estados Unidos, que constituyen los principales polos de generación y difusión del conocimiento.

Las redes de colaboración muestran una estructura articulada a nivel global, con vínculos sólidos entre instituciones y países líderes, especialmente entre China, Estados Unidos y diversas naciones europeas. Esto evidencia una creciente internacionalización del campo y una cooperación científica que impulsa la diversificación temática.

Finalmente, el análisis de los términos frecuentes y de las tendencias temáticas revela una transición desde enfoques tradicionales centrados en la enseñanza y el currículo hacia la incorporación de tecnologías emergentes, como *machine learning* e inteligencia artificial, lo que ha consolidado nuevas líneas de investigación orientadas a la innovación educativa y al uso de herramientas computacionales en la formación microbiológica.

Limitaciones y trabajos a futuro

Entre las principales limitaciones del estudio, se reconoce que el análisis bibliométrico se basó exclusivamente en los registros indexados en Scopus, lo que podría restringir la representación global del campo al excluir publicaciones relevantes de otras bases de datos. Otra limitación es que el estudio se centró en un enfoque cuantitativo de la producción científica, sin profundizar en los aspectos teóricos o metodológicos de los artículos, lo que impide realizar una valoración cualitativa de los enfoques pedagógicos o de las prácticas docentes descritas.

Para futuras investigaciones, se sugiere integrar múltiples bases de datos con el fin de ampliar la cobertura y facilitar comparaciones interplataforma que refuercen la validez de los hallazgos. Del mismo modo, sería pertinente desarrollar estudios cualitativos que analicen procesos concretos de enseñanza en biología de los microorganismos, de manera que los patrones bibliométricos puedan contrastarse con experiencias educativas reales, contribuyendo así a una comprensión más integral del fenómeno.

Referencias

- Abbas, A., Jusoh, A., Mas'od, A., Alsharif, A., & Ali, J. (2022). Bibliometrix analysis of information sharing in social media. *Cogent Business & Management*, 9(1), 2016556. <https://doi.org/10.1080/23311975.2021.2016556>
- Abdipour, S., Noushadi, F., Pourasghar, Y., Farkarian, A., Meftah, E., Homayounifar, F., & Amanati, A. (2025). Prevalence, microbiology, and antimicrobial susceptibility profile of bacterial skin and soft tissue infections in pediatric patients with malignancies at a referral teaching hospital in Shiraz, Iran. *BMC Infectious Diseases*, 25(1), 707. <https://doi.org/10.1186/s12879-025-11059-2>
- Adams, M., McClure, P., & Moss, M. (2015). *Food Microbiology* (4.^a ed.). Royal Society of Chemistry. <https://acortar.link/oikGPs>
- 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>
- Azizoğlu, F., Terzi, B., & Sönmez, D. (2024). Global trends in technology-dependent children, home care, and parental discharge education: A bibliometric analysis using Biblioshiny. *Journal of Pediatric Nursing*, 79, e213-e222. <https://doi.org/10.1016/j.pedn.2024.10.024>
- Blewett, E., & Kisamore, J. (2009). Evaluation of an interactive, case-based review session in teaching medical microbiology. *BMC Medical Education*, 9(1), 56. <https://doi.org/10.1186/1472-6920-9-56>
- Brockman, R., Taylor, J., Segars, L., Selke, V., & Taylor, T. (2020). Student perceptions of online and in-person microbiology laboratory experiences in undergraduate medical education. *Medical Education Online*, 25(1), 1710324. <https://doi.org/10.1080/10872981.2019.1710324>
- Büyükkıdık, S. (2022). A Bibliometric Analysis: A Tutorial for the Bibliometrix Package in R Using IRT Literature. *Journal of Measurement and Evaluation in Education and Psychology*, 13(3), 164-193. <https://doi.org/10.21031/epod.1069307>
- Campra, M., Riva, P., Oricchio, G., & Brescia, V. (2022). Bibliometrix analysis of medical tourism. *Health Services Management Research*, 35(3), 172-188. <https://doi.org/10.1177/09514848211011738>
- Chen, Y., Lin, M., & Zhuang, D. (2022). Wastewater treatment and emerging contaminants: Bibliometric analysis. *Chemosphere*, 297, 133932. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133932>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Erdem, I., Ozgultekin, A., Inan, A. S., Dincer, E., Turan, G., Ceran, N., Ozturk Engin, D., Senbayrak Akcay, S., Akgun, N., & Goktas, P. (2008). Incidence, etiology, and antibiotic resistance

- patterns of gram-negative microorganisms isolated from patients with ventilator-associated pneumonia in a medical-surgical intensive care unit of a teaching hospital in Istanbul, Turkey (2004-2006). *Japanese journal of infectious diseases*, 61(5), 339-342. <https://doi.org/10.7883/yoken.JJID.2008.339>
- Fidiastuti, H., Lestari, S., & Prabaningtyas, S. (2024). Developing microbiology literacy in biology education college: future teacher candidates. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 25(2), e00035-24. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00035-24>
- Forouzani, F., Khasti, T., Manzouri, L., Ravangard, S., Shahriarirad, R., Koleini, M., Ayareh, N., & Nikbakht, G. (2023). Resistance pattern of isolated microorganisms from 783 clinical specimen cultures in patients admitted to Yasuj Educational Hospitals, Iran. *BMC Microbiology*, 23(1), 205. <https://doi.org/10.1186/s12866-023-02952-4>
- González, W. (2023). The Teaching-Learning Process or the Teaching Process and the Learning Process. *Culture & Psychology*, 29(1), 96-115. <https://doi.org/10.1177/1354067X221097610>
- Guzmán, D., & Castillo, A. (2022). Cambios en el proceso de enseñanza aprendizaje: desafíos en la práctica docente desde análisis de carrera universitaria chilena. *Revista Educación*, 46(1), 263-279. <https://doi.org/10.15517/revedu.v46i1.45593>
- Jandu, N. (2019). Teaching resources, microbiology. En T. M. Schmidt (Ed.), *Encyclopedia of microbiology* (4th ed., pp. 395–403). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.13116-4>
- Kulwa, F., Li, C., Zhang, J., Shirahama, K., Kosov, S., Zhao, X., Jiang, T., & Grzegorzec, M. (2022). A new pairwise deep learning feature for environmental microorganism image analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(34), 51909-51926. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18849-0>
- Lazarides, M., Lazaridou, I.-Z., & Papanas, N. (2025). Bibliometric Analysis: Bridging Informatics With Science. *The International Journal of Lower Extremity Wounds*, 24(3), 515-517. <https://doi.org/10.1177/15347346231153538>
- Le, H., Nguyen, A., Vu, L., Nguyen, V., Pham, H., Le, H., Nguyen, S., Le, H., Dinh, H., Le, N., Le, T., Le, M., Nguyen, V., Hoang, K., & Le, H. (2024). Antimicrobial Resistance Patterns of Common Gram-Negative Microorganisms Isolated from Patients with Lower Respiratory Tract Infections in a Teaching Hospital in Vietnam. *Japanese Journal of Infectious Diseases*, 77(3), 144-154. <https://doi.org/10.7883/yoken.JJID.2023.260>
- Lei, X., Hamamurad, Q., & Zakaria, N. (2025). Assessing business model innovation in high-tech startups with Biblioshiny. *Future Business Journal*, 11(1), 172. <https://doi.org/10.1186/s43093-025-00588-6>
- Ma, P., Li, C., Rahaman, M., Yao, Y., Zhang, J., Zou, S., Zhao, X., & Grzegorzec, M. (2023). A state-of-the-art survey of object detection techniques in microorganism image analysis: From classical methods to deep learning approaches. *Artificial Intelligence Review*, 56(2), 1627-1698. <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10209-1>
- Opara, E., Mfon-Ette Theresa, A., & Aduke, T. (2023). ChatGPT for Teaching, Learning and Research: Prospects and Challenges. *Global Academic Journal of Humanities and Social Sciences*, 5(2), 33-40. <https://papers.ssrn.com/abstract=4375470>

- Pervez, A., Sarker, M., Uddin, M., & Kabir, M. (2025). Soil Salinity and Climate Change: A Bibliometric Analysis Based on the Scopus Database. *Journal of Agricultural Sciences–Sri Lanka*, 20(3), 429–446. <https://doi.org/10.4038/jas.v20i3.10760>
- Pranckutė, R. (2021). Web of Science (WoS) and Scopus: The Titans of Bibliographic Information in Today’s Academic World. *Publications*, 9(1), 12. <https://doi.org/10.3390/publications9010012>
- Qumsani, A. (2024). The contribution of microorganisms to sustainable development: Towards a green future through synthetic biology and systems biology. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s43994-024-00180-8>
- Raja, N. (2007). Microbiology of diabetic foot infections in a teaching hospital in Malaysia: a retrospective study of 194 cases. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, 40(1), 39-44. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17332905/>
- Rani, P., Kotwal, S., Manhas, J., Sharma, V., & Sharma, S. (2022). Machine Learning and Deep Learning Based Computational Approaches in Automatic Microorganisms Image Recognition: Methodologies, Challenges, and Developments. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29(3), 1801-1837. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09639-x>
- Scalas, D., Roana, J., Mandras, N., Cuccu, S., Banche, G., Marra, E. S., Collino, N., Piersigilli, G., Allizond, V., Tullio, V., & Cuffini, A. (2017). The Microbiological@mind project: A public engagement initiative of Turin University bringing microbiology and health education into primary schools. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 50(4), 588-592. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2017.05.008>
- Shaikh, A., & Khan, M. (2025). Bibliometric review of behavioral finance and risk: A scientometric analysis using biblioshiny. *Multidisciplinary Reviews*, 8(7), 2025233. <https://doi.org/10.31893/multirev.2025233>
- Soares, H., Armellini, B., Naves, G., Bueris, V., Moreno, A., & Café, R. (2024). Using “Adopt a Bacterium” as an e-learning tool for simultaneously teaching microbiology to different health-related university courses. *FEMS Microbiology Letters*, 371, fnae033. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnae033>
- Tristán-Ramos, P., Merroun, M., & Ruiz-Fresneda, M. (2024). Current educational strategies addressing antibiotic resistance: A bibliometric analysis. *Discover Education*, 3(1), 254. <https://doi.org/10.1007/s44217-024-00360-y>
- Vieira, M. (2025). Bringing microbiology to life: Problem-based learning activities enhance student engagement and clinical reasoning in the early medical curriculum. *FEMS Microbiology Letters*, 372, fnaf075. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnaf075>
- Xu, Y., Ding, X., Wang, W., Li, Y., & Nie, M. (2024). Analysis of ten-year teaching evaluation of oral microbiology lab curriculum. *BMC Medical Education*, 24(1), 309. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05298-1>
- Zafrullah, Z., Ramadhani, A., Ayuni, R., Fadhilla, N., & Safitri, R. (2024). The Using Confirmatory Factor Analysis as Construct Validity in Education Research: An Analysis with Biblioshiny. *DIROSAT: Journal of Education, Social Sciences & Humanities*, 2(3), 206-220. <https://doi.org/10.58355/dirosat.v2i3.70>

Zhang, J., Li, C., Rahaman, M., Yao, Y., Ma, P., Zhang, J., Zhao, X., Jiang, T., & Grzegorzec, M. (2022). A comprehensive review of image analysis methods for microorganism counting: From classical image processing to deep learning approaches. *Artificial Intelligence Review*, 55(4), 2875-2944. <https://doi.org/10.1007/s10462-021-10082-4>

Zhang, Y., Jing, Z., Feng, Y., Chen, S., Li, Y., Han, Y., Feng, L., Pan, J., Mazarji, M., Zhou, H., Wang, X., & Xu, C. (2023). Using automated machine learning techniques to explore key factors in anaerobic digestion: At the environmental factor, microorganisms and system levels. *Chemical Engineering Journal*, 475, 146069. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.146069>

Declaraciones éticas

Conflicto de interés

La autora declara que no existe ningún tipo de conflicto de interés relacionado con la presente investigación.

Fuente de financiamiento

La investigación fue financiada en su totalidad por la propia autora.

Contribución de autoría

Lesli Melissa Navarrete Reino: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

La autora intervino de manera activa en el análisis de los resultados, así como en la revisión crítica y la aprobación de la versión final del manuscrito para su publicación.