

Panorama global de la investigación en hidrogeles de nanocelulosa: Análisis bibliométrico hasta 2023

Global Research Landscape of Nanocellulose Hydrogels: A Bibliometric Analysis up to 2023

Eddy Jirón-García

Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica, Sede Caribe.

eddy.jiron@ucr.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0002-7524-9033>

Karina María Rodríguez Mora

Unidad de Recursos Forestales. Instituto de Investigaciones en Ingeniería. Universidad de Costa Rica.

karina.rodriguez mora@ucr.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0001-9660-4623>

Cesar Bernal-Samaniego

Universidad de Costa Rica, Sede Caribe, Limón-Costa Rica.

cesar.bernal@ucr.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0001-7891-7618>

Teresita Mora-Dittel

Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica, San José-Costa Rica.

teresita.moradittel@ucr.ac.cr

<https://orcid.org/0009-0004-1568-1985>

Referencia/ reference:

Jirón, E., Rodríguez, K., Bernal, C. y Mora, T. (2026). Panorama global de la investigación en hidrogeles de nanocelulosa: Análisis bibliométrico hasta 2023. *Yulök Revista de Innovación Académica*, Vol.9 (1), 67-77. <https://doi.org/10.47633/07ahpn45>

Recibido: 07 de octubre 2024

Aceptado: 22 de abril 2025

67

Resumen

Este estudio presenta un análisis bibliométrico sobre hidrogeles de nanocelulosa con el objetivo de evaluar el impacto de las publicaciones, autores y países vinculados al tema, así como identificar las principales líneas de investigación y las áreas con menor desarrollo. La búsqueda sistemática se realizó en la base de datos Scopus hasta noviembre de 2023 y fue procesada mediante los softwares VOSviewer 1.6.17 (Universidad de Leiden, Países Bajos) y Vantagepoint 15.2. Los registros más antiguos corresponden a 1888 y permiten reconocer tres generaciones de hidrogeles: (i) estudios centrados en la retención de agua y la resistencia mecánica, (ii) aplicaciones en administración de fármacos y uso biomédico y (iii) materiales avanzados basados en interacciones físicas o químicas para formar matrices tridimensionales complejas. El año 2023 presentó el mayor número de publicaciones, principalmente, en las áreas de ciencia de los materiales, química e ingeniería, se destaca a China como el país con la producción científica más elevada. A pesar del interés histórico y reciente, se observa que los hidrogeles de tercera generación aplicados a ciencias ambientales siguen poco explorados, lo cual representa una oportunidad de investigación.

Palabras clave: Análisis bibliométrico, Base de datos, Biopolímero, Hidrogel, Nanocelulosa.

Abstract

This study presents a bibliometric analysis of nanocellulose hydrogels to evaluate the impact of publications, authors, and countries associated with the topic, as well as identifying the main research lines and areas with limited development. The systematic search was conducted in the Scopus database up to November 2023 and processed using the software tools VOS

viewer 1.6.17 (Leiden University, The Netherlands) and Vantagepoint 15.2. The earliest records date back to 1888 and allow the identification of three generations of hydrogels: (i) studies focused on water retention and mechanical strength; (ii) applications in drug delivery and biomedical use; and (iii) advanced materials based on physical or chemical interactions that form complex three-dimensional matrices. The year 2023 presented the highest number of publications, mainly in the fields of materials science, chemistry, and engineering, with China being the country with the highest scientific output. Despite the historical and recent interest, third-generation hydrogels applied to environmental sciences remain underexplored, representing an opportunity for further research.

Keywords: Bibliometric Analysis. Biopolymer, Database Hydrogels, Nanocellulose.

Introducción/Justificación

Actualmente, la producción agrícola ocupa un lugar de importancia en la economía costarricense, de acuerdo con la Promotora del Comercio Exterior (PROCOMER), las agroexportaciones durante el 2022 correspondieron a un 3,2 % del producto interno bruto del país y albergaron el empleo de un 10 % de la población en general dentro de este sector (Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica, 2023).

No obstante, el incremento de las actividades agroindustriales conlleva a un aumento en la producción de residuos que, al no ser tratados correctamente, representan una fuente de contaminación importante y pueden resultar peligrosos para el ambiente y para la salud del ser humano (Sadh et al., 2018).

Por lo cual, una de las alternativas en el manejo de residuos de la industria agro es su disposición como materiales de mayor valor agregado, siendo la producción de nanocelulosa un ejemplo de ello (Vargas Mesén & Rodríguez Mora, 2021). La nanocelulosa es el biopolímero de celulosa a escala nanométrica que ha llamado la atención debido a sus propiedades como reactividad química de superficie, cristalinidad, resistencia mecánica y relativa estabilidad térmica (Jirón García et al., 2020).

Como consecuencia, este biopolímero se ha utilizado en diversas aplicaciones incluyendo materiales adsorbentes (Jirón García & Rodríguez Mora, 2022; Vargas Mesén & Rodríguez Mora, 2021), refuerzos poliméricos (Lee et al., 2014), estabilizadores de suspensiones coloidales y emulsiones (Fujisawa et al., 2017) e hidrogeles (Kayra & Aytakin, 2018). Estos últimos resultan de interés, ya que tienen la ventaja de ser utilizados en diversos campos dependiendo del residuo que les dio origen y del tratamiento fisicoquímico al cual haya sido sometida la materia prima.

Un hidrogel es una conformación tridimensional de un polímero natural o sintético, cuya principal característica es almacenar grandes cantidades de líquidos sin disolver-

se en ellos, además de esto, la reticulación física a través de las interacciones hidrófobas, la formación de complejos iónicos, las uniones de dominio físico y los enlaces de hidrógeno proporcionan en los hidrogeles una estructura de red que le da la integridad física (Peppas et al., 2000; Supramaniam et al., 2018).

En ese sentido, los hidrogeles de nanocelulosa han despertado el interés debido a sus propiedades de alta absorción, biodegradabilidad y nula toxicidad que les dotan de una amplia gama de aplicaciones en diferentes campos, tanto de investigación como de aplicación; por ejemplo, medicina, farmacia, agricultura y protección ambiental (De France et al., 2017; Sakthivel & Manian, 2019).

Asimismo, el estudio de hidrogeles de nanocelulosa se ha expandido en distintos ámbitos, especialmente, ligado en el aprovechamiento de residuos lignocelulósicos y en el desarrollo de nuevos biomateriales de forma sostenible. Sin embargo, no hay una descripción clara de la manera en cómo ha evolucionado esta producción científica ni en cuales áreas se concentran mayores vacíos. Los métodos bibliométricos permiten responder a estas preguntas mediante el análisis cuantitativo de publicaciones, autores, instituciones y países, los cuales ofrecen una forma estructurada de reconocer patrones y contrastar la actividad científica publicada (Donthu et al., 2021). A diferencia de una revisión tradicional, este enfoque facilita la observación de tendencias, concentraciones temáticas y zonas del conocimiento que han recibido menor atención (Fu et al., 2023). Aplicar este método al estudio de hidrogeles de nanocelulosa permite situar el estado actual del campo, identificar a los principales contribuyentes y señalar oportunidades concretas para nuevas líneas de trabajo.

Métodos

Se realizó una búsqueda sistemática en la base de datos científica *Scopus* utilizando los criterios establecidos por las siguientes ecuaciones de búsqueda:

TITLE-ABS-KEY ("hydrogels") AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "re")) [1]

TITLE-ABS-KEY ("hydrogels") AND ("nanocelullose ") AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "re")) [2]

La información fue recopilada hasta noviembre de 2023 y, además, se depuró para evitar repeticiones de términos con abreviaturas y guiones. No se aplicaron restricciones temporales en las ecuaciones de búsqueda; por lo tanto, el periodo analizado corresponde a la totalidad de los documentos indexados por *Scopus* hasta la fecha de consulta. Los softwares utilizados son VOSviewer versión 1.6.17 (Universidad de Leiden, Leiden, Países Bajos) y Vantagepoint versión 15.2.

Se generaron distintos mapas bibliométricos, con el fin de identificar patrones en la producción científica. El mapa de palabras clave permitió visualizar los términos más frecuentes y su agrupación temática. Los mapas de índice de publicación y de colaboraciones mostraron la relación entre países, instituciones y autores con mayor presencia en el campo, así como la evolución anual de dichas colaboraciones. Finalmente, el mapa de densidad permitió identificar las zonas de mayor concentración de publicaciones relacionadas con hidrogeles de nanocelulosa. Estos análisis complementan las métricas descriptivas y facilitan la interpretación estructural del campo

Resultados y discusión

El estudio de los hidrogeles ha sido amplio, comienza a tener relevancia a partir de 1888 y continua hasta la actualidad. Al analizar la base de datos Scopus, se obtuvieron 129462 resultados, esta cantidad muestra que este tema es muy amplio y ha tenido gran impacto a lo largo de la historia. Una representación de ello se puede apreciar en la Figura 1, la cual hace referencia al análisis de las primeras 5000 publicaciones.

Los documentos publicados comenzaron a aumentar a partir de 1969, antes de esta fecha se publicaban un máximo de entre 5 y 7 documentos por año, después aumentó a casi el doble y para inicios de la década de 1980 se marca un claro auge.

Aunado a la perspectiva histórica, los hidrogeles se constituyen como un material con una amplia aplicación en, por ello su estudio se ha dividido en tres generaciones: (i) sus orígenes en la literatura científica alrededor del año 1900 hasta la década de 1960, en donde se enfocaba al estudio de retención de agua y gran resistencia mecánica; (ii) a partir de 1970 donde el enfoque cambia a hidrogeles hechos de materiales específicos que respondan a condiciones ambientales, demostrando ser útiles en la administración de fármacos y aplicaciones biomédicas y

(iii) hidrogeles de materiales avanzados enfocados en las interacciones físicas o químicas que puedan formar matrices tridimensionales complejas (Buwalda et al., 2014; Mehta et al., 2023).

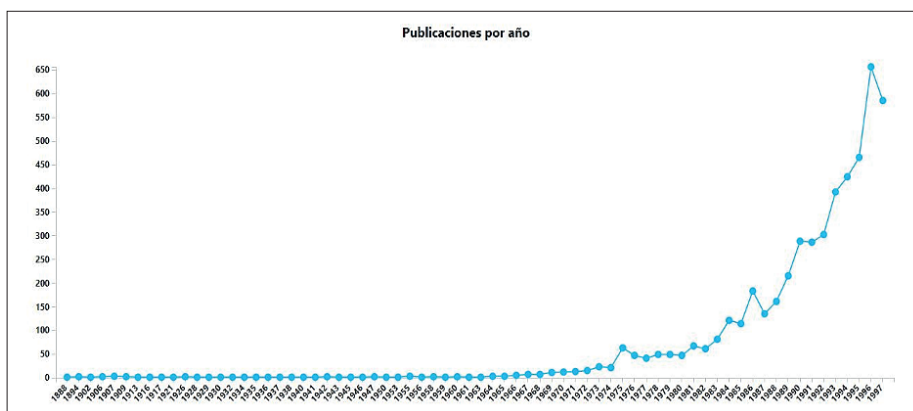
En síntesis, de estas últimas 5000 publicaciones, la mayoría corresponden al año 2023 y hay algunas con fecha 2024, como se muestra en la Figura 2. Las publicaciones del año 2024 corresponden a los early access ofrecidos por algunas revistas. Esto indica una rápida evolución en el tema de estudio de hidrogeles y los esfuerzos enfocados, principalmente, por implementar nuevos métodos para formar materiales avanzados con propiedades específicas de interés.

Por consiguiente, en la Figura 3, también, se puede apreciar que la mayor frecuencia de publicaciones dentro de la base de datos de Scopus sobre el tema de los hidrogeles se presenta en las áreas de Ciencia de los Materiales, Química e Ingeniería. Esto cobra sentido al reconocer que el mayor aporte de los hidrogeles inició a partir de 1960 con los descubrimientos de Wichterle y Lim en el área biomédica (Wichterle & Lim, 1960) y, posteriormente, la diversificación en la producción de geles absorbentes y su uso en pañales para Alemania y Francia a partir de 1980; esto provocó un crecimiento en la industria y mostró la relevancia de estos materiales (Thakur et al., 2018).

Por el contrario, en las áreas de Ciencias Ambientales y Energía representan un menor porcentaje de documentos publicados. Esto se atribuye a la reciente concientización sobre el manejo de los recursos naturales, que se sabe son finitos, y el impacto de las tecnologías de producción sobre el ambiente. Lo cual permite visualizar que en estas áreas hay una oportunidad importante de aporte en conocimiento sobre hidrogeles.

Figura 1

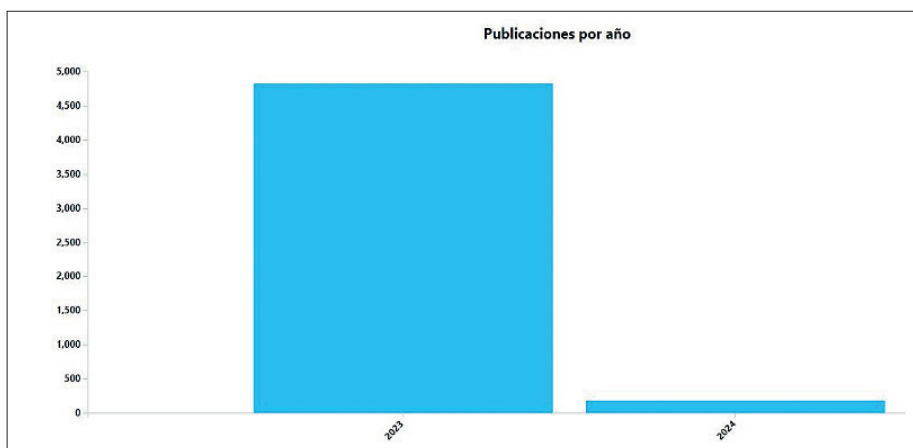
Publicaciones por año para los primeros 5000 datos de estudio de hidrogeles.



Nota. Elaboración propia; imagen generada por el programa Vantagepoint con datos de *Scopus*.

Figura 2

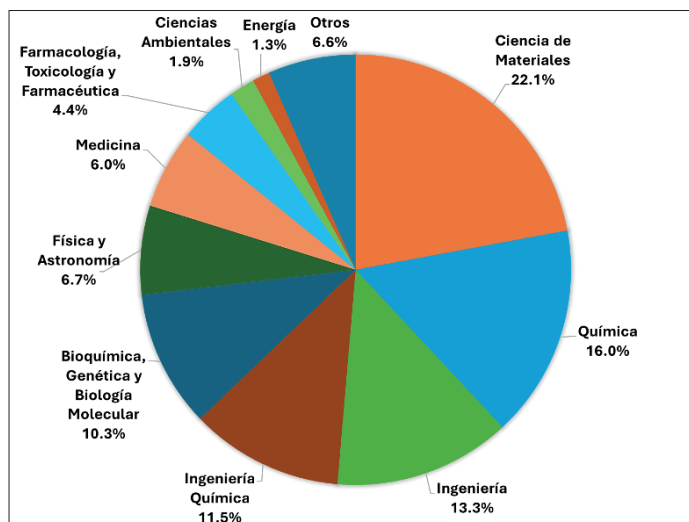
Publicaciones por año para los últimos 5000 datos de estudio de hidrogeles.



Nota. Elaboración propia; imagen generada por el programa Vantagepoint con datos de *Scopus*.

Figura 3

Áreas de publicación sobre hidrogeles.



Nota. Elaboración propia a partir de los datos tomados de *Scopus*.

Al analizar las revistas de mayor impacto en las primeras décadas del estudio de hidrogeles (1900–1975), se identifican revistas con amplia trayectoria en el área, como *Optometry and Vision Science* (activa desde hace más de 75 años) y *International Contact Lens Clinic* (con cobertura entre 1989 y 2000) ambas centradas en el desarrollo de lentes de contacto. Este enfoque editorial se relaciona con la aparición de hidrogeles biomédicos en la década de 1960 y con el avance posterior de redes poliméricas simples para aplicaciones en oftalmología y administración de fármacos (Thakur et al., 2018; Wichterle & Lim, 1960). Asimismo, estos materiales se introducen comercialmente alrededor de 1975 (McMahon & Zadnik, 2000).

Por otra parte, analizando las Figuras 3 y 4 se puede interpretar que el resto de las revistas de mayor relevancia son sobre aplicación en ciencias básicas, enfocadas en el estudio de liberación controlada y difusión en el polímero o biomaterial, lo cual coincide con aplicaciones de hidrogeles de la segunda generación. La Figura 4 se centró en el periodo 1888–1997 con el fin de identificar las revistas predominantes en la etapa temprana del estudio de hidrogeles, antes del incremento acelerado de publicaciones posteriores al año 2000.

Por consiguiente, al analizar el comportamiento de las diferentes revistas (Figura 5) durante el periodo más reciente (5000 publicaciones ubicadas entre el año 2023 e inicios de 2024), se destaca la aparición de publicaciones enfocadas a la ingeniería, como *Chemical Engineering Journal* entre los más relevantes. Esto representa un aspecto de importancia para esta carrera, cuyo inicio se basó en la producción industrial a gran escala de productos químicos (Taylor, 2021). No obstante, cada vez más ingenieros químicos participan en la creación de polímeros, cerámicas, compuestos, materiales bioderivados y materiales electrónicos novedosos y mejorados, además de distintas formas de fabricarlos (Hirashima, 2022), aludiendo estas revistas actuales a la demanda en hidrogeles de la tercera generación, mostrando un gran potencial de estudio en esta ruta.

Ahora bien, al afinar la búsqueda utilizando la Ecuación [2] para limitar los resultados, específicamente a hidrogeles de nanocelulosa, se recuperaron 965 publicaciones en *Scopus* sin restricción temporal explícita, abarcando desde los primeros registros (2007) hasta noviembre de 2023, tal como se muestra en la Figura 6. Este tipo de biomaterial se comenzó a estudiar desde el 2007, tuvo su auge alrededor de 10 años después. Dado que la ecuación de búsqueda no incluye un límite temporal, *Scopus* recuperó artículos fechados como 2024; estos corresponden a registros anticipados que la base indexa antes de su

publicación formal. La presencia de estos trabajos y el incremento marcado en los últimos años reflejan el crecimiento acelerado del tema como respuesta a las necesidades actuales de nanomateriales de alto valor.

Si bien se pueden encontrar datos de hidrogeles de celulosa y carboxipropilmetilcelulosa desde mucho antes de esta fecha debido a sus características de interés durante la primera generación (Huber et al., 1966), los estudios posteriores se enfocaron en la combinación de celulosa con otros polímeros para lograr hidrogeles inteligentes durante la segunda generación para, finalmente, desencadenar en el estudio de la nanocelulosa como biopolímero con grandes propiedades (Buwalda et al., 2014).

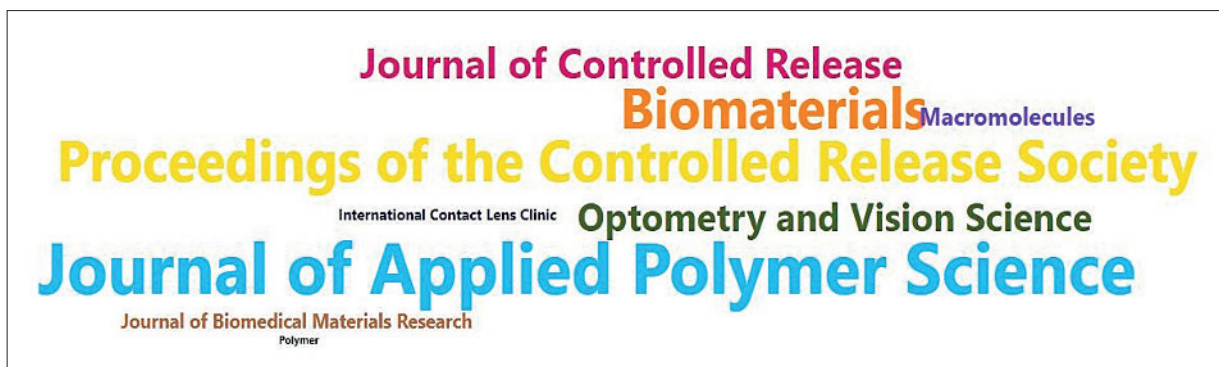
Por esta razón, la tendencia observada en la Figura 6, con un aumento notable en las publicaciones sobre hidrogeles de nanocelulosa en la actualidad, coincide con el desplazamiento progresivo hacia aplicaciones más complejas y la consolidación de ciertas revistas como medios principales de difusión. En este contexto, revistas como *Carbohydrate Polymers*, *International Journal of Biological Macromolecules* y *Cellulose* (Carbohydrate Polymers, 2024; Cellulose, 2024; International Journal of Biological Macromolecules, 2024) se han posicionado como los canales principales de publicación dado su enfoque en macromoléculas como polisacáridos y su aplicación en alta tecnología, biomateriales, medicina, ingeniería, farmacia, textiles entre otros. Asimismo, estas revistas se han destacado por publicar sobre el estudio del procesamiento, caracterización de materiales de celulosa y polisacáridos que responden a la categoría de hidrogeles de tercera generación.

Por otra parte, utilizando el mapeo científico de los datos (2007-2023) como herramienta de análisis correlacional, se muestra el vínculo entre algunos elementos propios que constituyen las publicaciones científicas (McMahon & Zadnik, 2000). Debido a este mapeo, se puede identificar no solo el hilo de lo que se ha publicado, sino también la proyección de las nuevas investigaciones y las áreas donde se pueden hacer contribuciones importantes dentro del campo de hidrogeles de nanocelulosa.

En la Figura 8, por ejemplo, se muestra la relación existente entre las palabras clave encontradas al estudiar el campo de hidrogeles de nanocelulosa, evidenciando una mayor influencia de los tipos de nanocelulosa empleada en la producción de estos hidrogeles (*cellulose nanofiber*, *cellulose nanocrystal*, *bacterial cellulose*), al mismo tiempo, se identifica el poco empleo de palabras clave relacionadas a aerogeles, reología, nanocompuestos propiedades mecánicas y alginato.

Figura 4

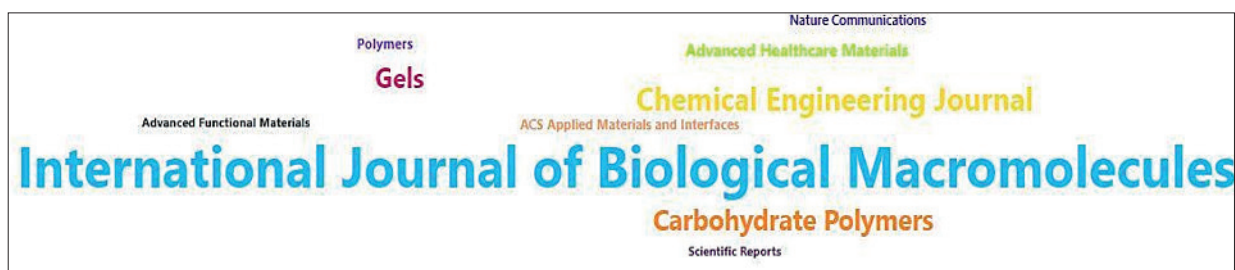
Revistas con mayor índice de publicación en los años 1888-1997 para hidrogeles.



Nota. Elaboración propia; imagen generada por el programa Vantagepoint con datos de *Scopus*.

Figura 5

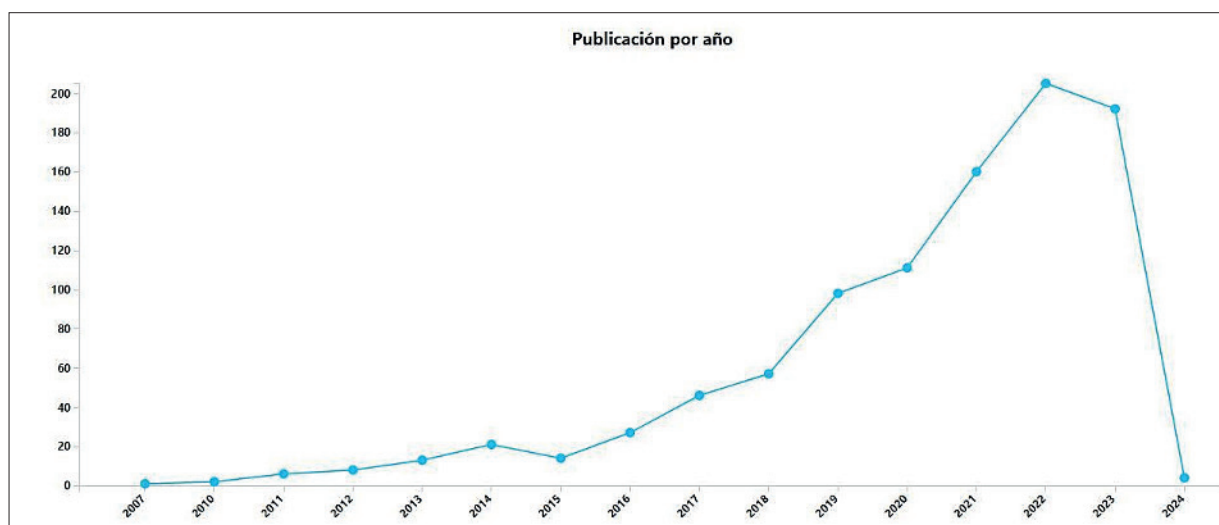
Revistas con mayor índice de publicación en el año 2023 e inicios 2024 para hidrogeles.



Nota. Elaboración propia; imagen generada por el programa Vantagepoint con datos de *Scopus*.

Figura 6

Publicaciones por año de hidrogeles de nanocelulosa (2007–2023).



Nota. Elaboración propia; imagen generada por el programa Vantagepoint con datos de *Scopus*; algunos registros aparecen fechados como 2024 debido a indexación anticipada (*early access*).

Al mismo tiempo, la Figura 9 muestra los países con al menos 3 publicaciones que se encuentran dentro de la base de datos estudiada. Este mapeo permite encontrar las regiones donde se han mostrado mayores contribuciones en el campo de estudio de hidrogeles de nanocelulosa mostrando, de manera simultánea, la relación entre ellos. Esto permite conocer las “colegios invisibles” o redes de colaboración que permiten esfuerzos conjuntos en la investigación como respuesta al aumento en complejidad metodológica y teórica de la investigación y a la necesidad de contribuir con conocimientos más ricos en el tema (Acedo et al., 2006; Crane, 1969).

Se muestra a los investigadores de China, Corea del Sur y Japón como los mayores exponentes en cuanto al índice de publicación de hidrogeles de nanocelulosa, seguidos de Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Finlandia y Australia. Este impacto, también, se relaciona con el desarrollo social de las regiones, así como los recursos y necesidades que presenten, por esta razón la lista está encabezada por aquellos países considerados “desarrollados” (Donthu et al., 2021).

En el continente americano se ubican como exponentes Brasil, Colombia y Chile, además de los países del norte ya mencionados, este aspecto es de importancia porque permite, no solo distinguir los países que están implementando esfuerzos en investigaciones relacionadas con hidrogeles de nanocelulosa sino valorar la formación de alianzas que permitan la investigación de regiones subrepresentadas en el mapeo (Acedo et al., 2006; Crane, 1969; Donthu et al., 2021).

El análisis, también, permite mapear colaboraciones en diferentes períodos de tiempo, así se puede diferenciar si los países interrelacionados en el mapeo se encuentran dentro de los periodos actuales de publicación. Por ejemplo, la Figura 10 muestra que, aunque China es el mayor contribuidor de conocimiento en hidrogeles de nanocelulosa, países como Egipto y Emiratos Árabes Unidos poseen publicaciones más recientes dentro del periodo analizado.

Lo anterior coincide con la Figura 11, donde la intensidad del color representa la densidad de publicaciones hechas hasta la fecha por los países de las Figuras 9 y 10. Efectivamente, la concentración de publicaciones sobre hidrogeles de nanocelulosa se ha realizado principalmente en China (3,58 veces más artículos en *Scopus*), superando por un puesto a Estados Unidos. Este predominio no se debe a una única razón, sino a la forma de indexación según la afiliación institucional de los autores. En *Scopus*, un artículo se asocia a un país según la institución declarada por cada autor, es decir, un mismo documento

puede contribuir a varios países si existe coautoría internacional. En este caso, el alto volumen de documentos vinculados a China refleja, principalmente, que una proporción significativa de los autores activos en el área trabajan en instituciones chinas y, no necesariamente, que los estudios estén enfocados en aplicaciones específicas dentro de ese país. En otras palabras, la concentración responde al lugar de adscripción de los grupos de investigación más productivos, lo que coincide con la expansión reciente de la investigación en biopolímeros y materiales avanzados en China. Por esta razón, la mayoría de los documentos se encuentren en idioma inglés (ver Figura 12) y no en el idioma chino mandarín.

Con lo referente al idioma, se ha afirmado por muchos años que el inglés proporciona a la comunidad científica amplios beneficios epistémicos al facilitar el intercambio internacional de conocimientos, las colaboraciones y la crítica social (Elnathan, 2021), no obstante, recientemente ha recibido críticas dirigidas a que los nuevos conocimientos relevantes pueden tornarse vulnerables por esta barrera, en consecuencia se han incrementado publicaciones en otros idiomas, como el chino mandarín, portugués, ruso y japones; aunque este último en una menor escala (Peters, 2023).

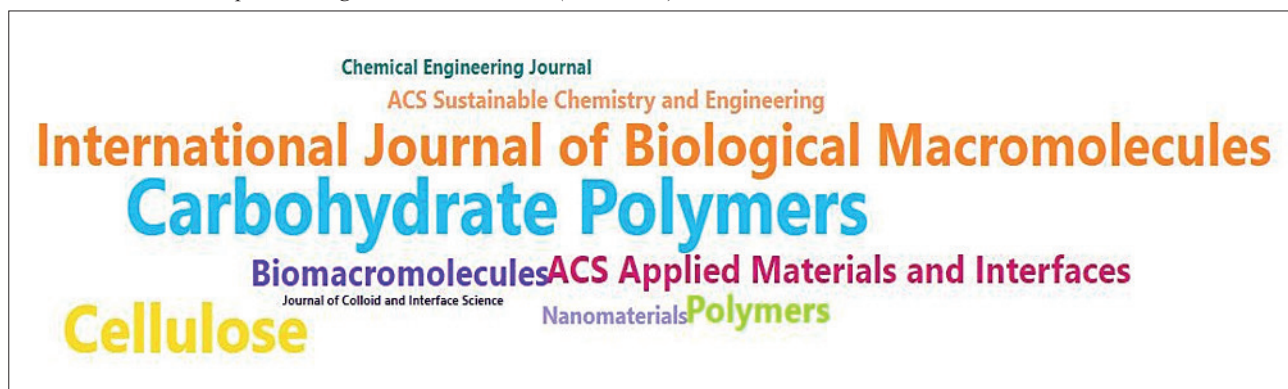
Conclusiones

El análisis bibliométrico mostró que las primeras publicaciones sobre hidrogeles datan de 1888 y que, a partir de 1969, se observa un aumento marcado asociado al desarrollo de aplicaciones biomédicas y, posteriormente, a los primeros avances industriales registrados alrededor de 1980. Las áreas con mayor número de documentos fueron ciencia de materiales, química e ingeniería, mientras que las ciencias ambientales y la energía presentaron una participación considerablemente menor dentro del periodo analizado. Asimismo, los hidrogeles de nanocelulosa limitan su aparición hasta 2007 dentro de los hidrogeles de segunda generación, por sus propiedades como macromolécula.

Los mapas de colaboración confirmaron que la mayor parte de la producción está asociada a instituciones de China, seguida por Estados Unidos, Finlandia, Japón e India, patrón coherente con la densidad de publicaciones observada en los mapas de VOSviewer. Asimismo, el análisis de revistas evidenció que, conforme el campo avanzó hacia hidrogeles de segunda y tercera generación, las publicaciones se concentraron en *Carbohydrate Polymers*, *International Journal of Biological Macromolecules* y *Cellulose*, revistas estrechamente vinculadas al estudio de polisacáridos, biomateriales y caracterización de polímeros.

Figura 7

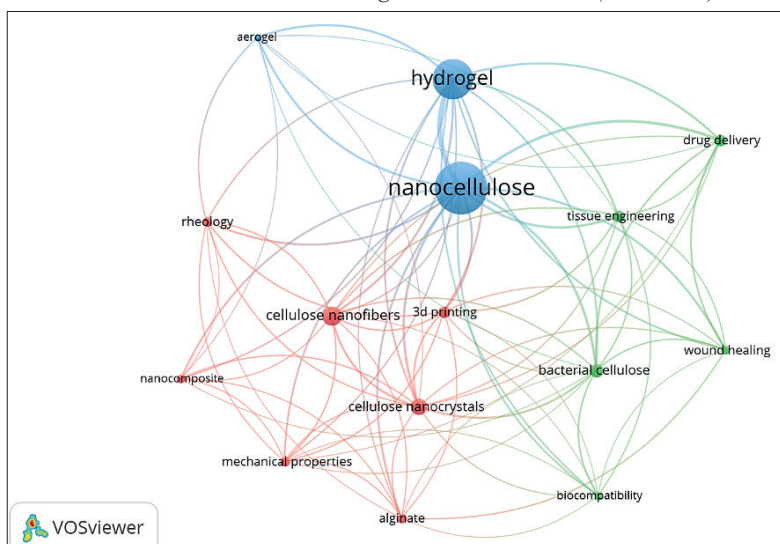
Revistas más utilizadas para hidrogeles de nanocelulosa (2007-2023).



Nota. Elaboración propia; imagen generada por el programa Vantagepoint con datos de *Scopus*.

Figura 8

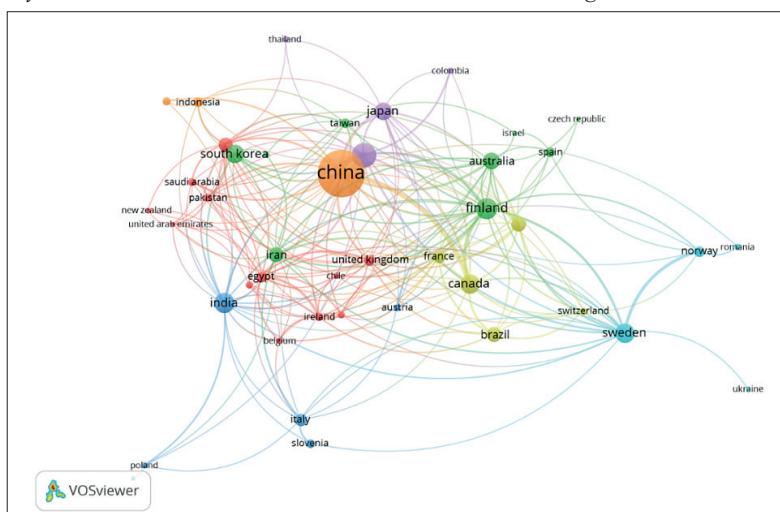
Mapa de palabras clave más relevantes encontradas en los hidrogeles de nanocelulosa (2007-2023).



Nota. Elaboración propia; imagen generada por el programa VOSviewer con datos de *Scopus*.

Figura 9

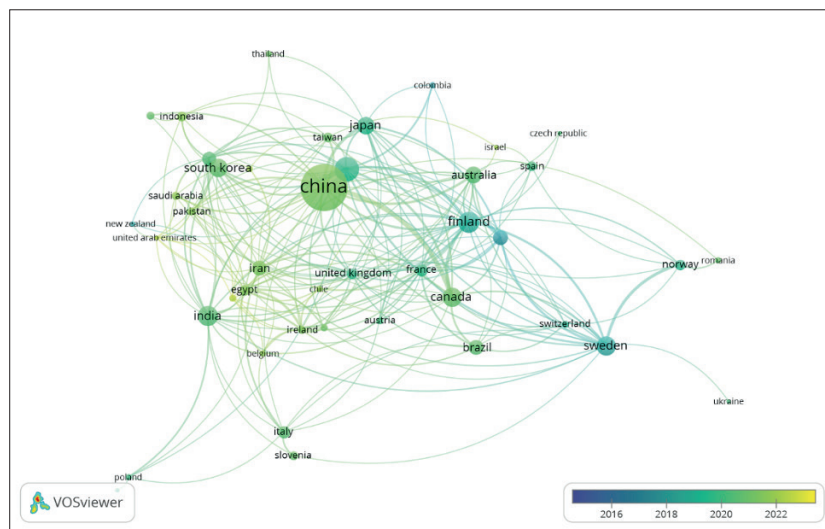
Mapa índice de publicación y colaboraciones más relevantes encontradas en los hidrogeles de nanocelulosa (2007-2023).



Nota. Elaboración propia; imagen generada por el programa VOSviewer con datos de *Scopus*.

Figura 10

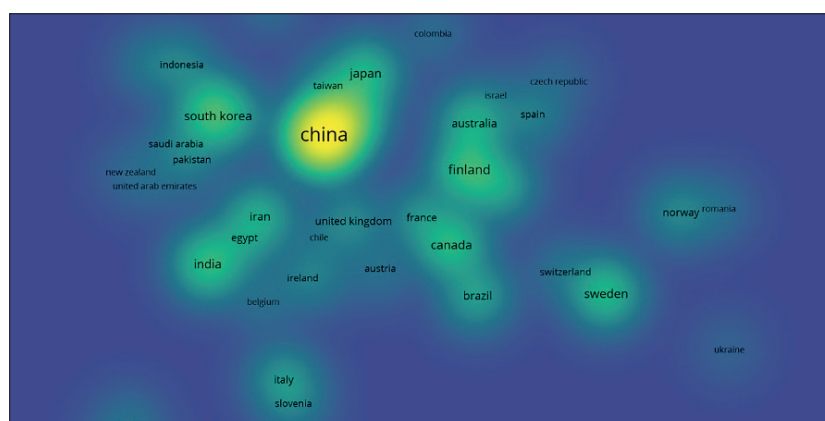
Mapa índice de publicación y colaboraciones por año encontradas en los hidrogeles de nanocelulosa (2007-2023).



Nota. Elaboración propia; imagen generada por el programa VOSviewer con datos de *Scopus*.

Figura 11

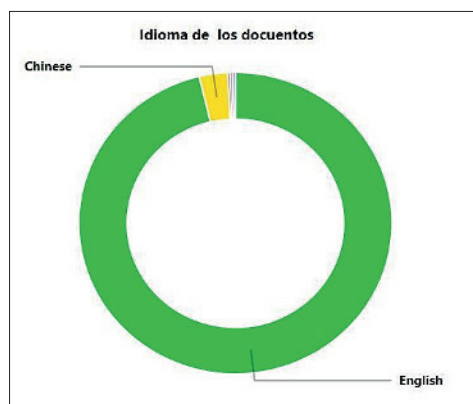
Mapa de densidad de publicación de hidrogeles de nanocelulosa (2007-2023).



Nota. Elaboración propia; imagen generada por el programa VOSviewer con datos de *Scopus*.

Figura 12

Idioma de las publicaciones encontradas para hidrogeles de nanocelulosa.



Nota. Elaboración propia; imagen generada por el programa VOSviewer con datos de *Scopus*.

En conjunto, los resultados permiten describir cómo ha evolucionado la investigación en hidrogeles de nanocelulosa, cuáles son las áreas que concentran mayor actividad y dónde persisten vacíos temáticos. En particular, los campos de energía y ciencias ambientales representan espacios con menor exploración y, por tanto, posibles líneas de trabajo para estudios futuros.

Referencias

- Acedo, F. J., Barroso, C., Casanueva, C., & Galán, J. L. (2006). Co-Authorship in Management and Organizational Studies: An Empirical and Network Analysis*. *Journal of Management Studies*, 43(5), 957–983. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2006.00625.x>
- Buwalda, S. J., Boere, K. W. M., Dijkstra, P. J., Feijen, J., Vermonden, T., & Hennink, W. E. (2014). Hydrogels in a historical perspective: From simple networks to smart materials. *Journal of Controlled Release*, 190, 254–273. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.03.052>
- Carbohydrate Polymers. (2024). *About the journal*. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/journal/carbohydrate-polymers>
- Cellulose. (2024). *Overview*. Springer Nature. <https://link.springer.com/journal/10570>
- Crane, D. (1969). Social Structure in a Group of Scientists: A Test of the “Invisible College” Hypothesis. *American Sociological Review*, 34(3), 335. <https://doi.org/10.2307/2092499>
- De France, K. J., Hoare, T., & Cranston, E. D. (2017). Review of Hydrogels and Aerogels Containing Nanocellulose. *Chemistry of Materials*, 29(11), 4609–4631. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.7b00531>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (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>
- Elnathan, R. (2021). English is the language of science-but precision is tough as a non-native speaker. *Nature*.
- Elsevier Science. (n.d.). *International Contact Lens Clinic*. Scholars Portal Journals. Retrieved February 10, 2024, from <https://journals.scholarsportal.info/browse/08928967>
- Fu, Y., Mao, Y., Jiang, S., Luo, S., Chen, X., & Xiao, W. (2023). A bibliometric analysis of systematic reviews and meta-analyses in ophthalmology. *Frontiers in Medicine*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1135592>
- Fujisawa, S., Togawa, E., & Kuroda, K. (2017). Nanocellulose-stabilized Pickering emulsions and their applications. *Science and Technology of Advanced Materials*, 18(1), 959–971. <https://doi.org/10.1080/14686996.2017.1401423>
- Hirashima, C. (2022, November 7). *The Future of Chemical Engineering: Findings from the 2022 NASEM Report*. American Institute of Chemical Engineers. <https://www.aiche.org/chenec-ted/2022/11/future-chemical-engineering-findings-2022-nasem-report>
- Huber, H. E., Dale, L. B., & Christenson, G. L. (1966). Utilization of Hydrophilic Gums for the Control of Drug Release from Tablet Formulations I. Disintegration and Dissolution Behavior. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 55(9), 974–976. <https://doi.org/10.1002/jps.2600550923>
- International Journal of Biological Macromolecules. (2024). *About the Journal*. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/journal/international-journal-of-biological-macromolecules>
- Jirón García, E. G., Rodríguez Mora, K., & Bernal, C. (2020). Cellulose Nanofiber Production from Banana Rachis. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 10(2), 24683–24689. <http://www.ijesc.org/upload/3510575ccf3d9d6cf638cd0f5fc930d8.Cellulose%20Nanofiber%20Production%20from%20Banana%20Rachis.pdf>
- Jirón García, E. G., & Rodríguez Mora, K. M. (2022). Funcionalización de nanocelulosa de raquis de palma como adsorbente de cationes metálicos del agua. *InterSedes*. <https://doi.org/10.15517/isucr.v23i48.49746>
- Kayra, N., & Aytekin, A. Ö. (2018). Synthesis of cellulose-based hydrogels: Preparation, formation, mixture, and modification. In *Cellulose-Based Superabsorbent Hydrogels* (pp. 1–28). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76573-0_16-1
- Lee, K. Y., Aitomäki, Y., Berglund, L. A., Oksman, K., & Bismarck, A. (2014). On the use of nanocellulose as reinforcement in polymer matrix composites. *Composites Science and Technology*,

- 105, 15–27. <https://doi.org/10.1016/j.compsci-tech.2014.08.032>
- McMahon, T. T., & Zadnik, K. (2000). Twenty-five Years of Contact Lenses: The Impact on the Cornea and Ophthalmic Practice. *Cornea*, 19(5), 730–740. <https://doi.org/10.1097/00003226-200009000-00018>
- Mehta, P., Sharma, M., & Devi, M. (2023). Hydrogels: An overview of its classifications, properties, and applications. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 147, 106145. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2023.106145>
- Optometry and Vision Science. (2024). *About the Journal*. American Academy of Optometry Web Page. <https://journals.lww.com/optvissci/Pages/about-thejournal.aspx>
- Peppas, N. A., Bures, P., Leobandung, W., & Ichikawa, H. (2000). Hydrogels in pharmaceutical formulations. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 50(1), 27–46. [https://doi.org/10.1016/S0939-6411\(00\)00090-4](https://doi.org/10.1016/S0939-6411(00)00090-4)
- Peters, U. (2023). Linguistic Discrimination in Science: Can English Disfluency Help Debias Scientific Research? *International Studies in the Philosophy of Science*, 36(1), 61–79. <https://doi.org/10.1080/02698595.2023.2251676>
- Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica. (2023, February 29). *Sector agrícola de costa rica exhibe su esencia en fruitlogistica 2023*. Noticia PROCOMER. <https://www.procomer.com/noticia/sector-agricola-de-costa-rica-exhibe-su-esencia-en-fruitlogistica-2023/>
- Sadh, P. K., Duhan, S., & Duhan, J. S. (2018). Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: A review. *Bioresources and Bioprocessing*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0187-z>
- Sakthivel, S., & Manian, R. (2019). Hydrogel: A novel biomaterial of yesterday, today, and tomorrow – A review. *Drug Innovation Today*, 12(12), 2892–2901.
- Supramaniam, J., Adnan, R., Mohd Kaus, N. H., & Bushra, R. (2018). Magnetic nanocellulose alginate hydrogel beads as potential drug delivery system. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118, 640–648. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.043>
- Taylor, M. (2021, January 13). *An Origin Story: The History of Chemical Engineering*. New Engineer. <https://newengineer.com/blog/the-history-of-chemical-engineering-1506258>
- Thakur, S., Thakur, V. K., & Arotiba, O. A. (2018). History, Classification, Properties and Application of Hydrogels: An Overview. In V. K. Thakur & M. K. Thakur (Eds.), *Hydrogels: Recent Advances*, pp. 29–50. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6077-9_2
- Vargas Mesén, J., & Rodríguez Mora, K. (2021). Funcionalización de nanocelulosa a partir de rastrojo de piña y raquis de palma africana. *Científica*, 25(2), 1–19. <https://doi.org/10.46842/ipn.cien.v25n2a08>
- Wichterle, O., & Lim, D. (1960). Hydrophilic Gels for Biological Use. *Nature*, 185, 117–118. <https://doi.org/10.1038/185117a0>