



Análisis bibliométrico de la competitividad de México en la aplicación de nanomateriales en energías renovables

Francisco Estrada Chávez

Facultad de Biología
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
francisco.estrada@umich.mx

Jennifer López Chacón

Facultad de Biología
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
jennifer.lopez@umich.mx

Georgina Paola Suárez Ceja

Facultad de Biología
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
1426020K@umich.mx

Resumen:

En este trabajo se evaluó la competitividad científica de México en la aplicación de nanomateriales a energías renovables mediante un análisis bibliométrico comparativo. Se utilizó un archivo .csv descargado de Scopus con 846 artículos publicados entre 2007 y 2024 y se extrajo el subconjunto mexicano (2013–2024). El procesamiento se realizó con un flujo reproducible en Python/Google Colab para estimar productividad, citación, revistas fuente, coautoría y orientación temática. México registró 10 publicaciones, con máximo en 2022, y acumuló 70 citas, con concentraciones en 2013 y 2022. Fue concentró tres artículos, seguida por revistas de ciencia de materiales, lo que sugiere una estrategia de difusión mixta. Las afiliaciones más frecuentes incluyeron el Tecnológico de Monterrey, la Facultad de Ingeniería y el CIMAV, con colaboraciones internacionales selectivas. Temáticamente, predominaron bioenergía, catalizadores y economía circular, mientras emergen water splitting y oxygen evolution reaction. En el escenario liderado por China, India y Estados Unidos, se observan brechas competitivas.

Palabras clave: Competitividad científica; México; bibliometría; nanomateriales; energías renovables; colaboración internacional.

Códigos JEL: O32; O33; O57; Q42; Q55.



Bibliometric Analysis of Mexico's Competitiveness in the Application of Nanomaterials in Renewable Energy

Abstract:

This study evaluates Mexico's scientific competitiveness in the application of nanomaterials to renewable energy through a comparative bibliometric analysis. A Scopus-derived .csv dataset comprising 846 articles published between 2007 and 2024 was used, and the Mexican subset (2013–2024) was extracted. Data were processed using a reproducible workflow in Python/Google Colab to estimate productivity, citation impact, source journals, co-authorship patterns, and thematic orientation. Mexico recorded 10 publications, peaking in 2022, and accumulated 70 citations, with notable concentrations in 2013 and 2022. *Fuel* accounted for three Mexican articles, followed by materials science journals, suggesting a mixed dissemination strategy. The most frequent affiliations included Tecnológico de Monterrey, the Faculty of Engineering, and CIMAV, with selective international collaborations. Thematically, bioenergy, catalysts, and circular economy predominated, while *water splitting* and the *oxygen evolution reaction* emerge as recent focal topics. Within a landscape led by China, India, and the United States, competitiveness gaps are evident.

Keywords: scientific competitiveness; Mexico; bibliometrics; nanomaterials; renewable energy; international collaboration.

JEL codes: O32; O33; O57; Q42; Q55.



1. Introducción

En el contexto del cambio climático y de la necesidad urgente de una transición hacia sistemas energéticos más sostenibles, los nanomateriales se han posicionado como una alternativa estratégica para mejorar la eficiencia de tecnologías asociadas a las energías renovables. Sus propiedades físicas y químicas, que emergen a escalas nanométricas, han abierto nuevas oportunidades para el desarrollo de celdas solares, baterías, supercondensadores y sistemas de almacenamiento energético más eficaces (Khan et al., 2019).

Ante este panorama, la investigación sobre nanomateriales y su aplicación en fuentes limpias de energía ha experimentado un crecimiento exponencial. No obstante, la producción académica en este campo es extensa, dispersa y de evolución dinámica, lo que dificulta identificar con claridad los focos de investigación, las colaboraciones internacionales y las aplicaciones más prometedoras. En este escenario, el análisis bibliométrico se vuelve una herramienta clave para mapear la producción científica, identificar tendencias, actores relevantes y vacíos de investigación (Donthu et al., 2021).

La transición hacia sistemas energéticos sostenibles demanda innovación constante en materiales funcionales. En este sentido, los nanomateriales han demostrado un potencial sobresaliente para optimizar procesos de generación, conversión y almacenamiento de energía renovable (Ong et al., 2021). Al mismo tiempo, surge la necesidad de evaluar el impacto de esta producción científica, tanto en términos cuantitativos (volumen de publicaciones, número de citas, autores más productivos) como cualitativos (temáticas emergentes, orientaciones tecnológicas, enfoques sostenibles). Una revisión bibliométrica puede ofrecer una visión panorámica y sistemática del estado actual del conocimiento sobre nanomateriales en energías renovables, proporcionando información clave para orientar futuras investigaciones y políticas de innovación científica (Donthu et al., 2021; van Eck & Waltman, 2010).

Este estudio es relevante por varias razones. En primer lugar, contribuye a organizar y sistematizar la información científica relacionada con nanomateriales aplicados a fuentes renovables de energía, un campo interdisciplinario en rápida expansión. En segundo lugar,



permite identificar qué países, instituciones, autores y revistas lideran la producción científica, lo que resulta útil para establecer redes de colaboración y posibles transferencias tecnológicas. En tercer lugar, aporta datos sobre la evolución temporal, las palabras clave más frecuentes y las principales líneas de aplicación, facilitando la toma de decisiones en investigación, desarrollo e innovación (Donthu et al., 2021; van Eck & Waltman, 2010). Asimismo, desde una perspectiva metodológica, el trabajo pone en práctica herramientas de análisis bibliométrico mediante el uso de bases de datos científicas como Scopus y de software especializado como VOSviewer y Python, fortaleciendo el rigor académico y técnico del análisis.

El objetivo general de este artículo es analizar, mediante técnicas bibliométricas, la producción científica relacionada con el uso de nanomateriales en energías renovables, a fin de identificar tendencias de investigación, autores e instituciones destacadas y aplicaciones tecnológicas relevantes. De manera específica, se propone: (i) analizar la evolución anual de la productividad científica en el campo de los nanomateriales aplicados a energías renovables durante el periodo 2007–2024, identificando tendencias de crecimiento y consolidación temática; (ii) evaluar el impacto académico de las publicaciones a través del número de citas anuales, para identificar los periodos de mayor influencia científica; (iii) determinar las principales revistas científicas en las que se publica la investigación sobre nanomateriales y energías renovables, identificando los canales de mayor difusión temática; (iv) explorar las líneas temáticas predominantes mediante el análisis de palabras clave, delimitando enfoques recurrentes y emergentes; (v) identificar redes de colaboración científica entre autores, a través del análisis de coautoría; (vi) caracterizar la participación institucional y geográfica en la producción científica, destacando países y centros de investigación más activos; y (vii) analizar la evolución temática del campo a lo largo del tiempo, representando visualmente las tendencias emergentes mediante nubes de palabras y mapas de calor.

Estas metas se traducen en preguntas orientadoras como: ¿cómo ha evolucionado la productividad científica en el área de nanomateriales aplicados a energías renovables entre 2007 y 2024?, ¿cuáles son los años con mayor impacto académico y cómo se distribuyen las citas a lo largo del tiempo?, ¿qué revistas concentran el mayor número de publicaciones y qué áreas del



conocimiento representan?, ¿qué temas emergen con mayor frecuencia según el análisis de palabras clave?, ¿quiénes son los autores más influyentes y cómo se estructura la red de colaboración científica?, ¿qué instituciones y países lideran la producción científica en este campo?, y ¿cómo han cambiado las temáticas principales a lo largo del tiempo y qué términos clave han ganado relevancia en años recientes?

De manera coherente con estos interrogantes, se plantea la hipótesis de que la producción científica sobre nanomateriales aplicados a energías renovables ha experimentado un crecimiento sostenido en los últimos años, concentrándose en temáticas emergentes como la reacción de evolución del oxígeno y la división del agua, con una fuerte participación de países asiáticos y europeos, y una red de colaboración académica liderada por autores altamente conectados en revistas especializadas de alto impacto.

El alcance del estudio se restringe a la producción científica indexada en la base de datos Scopus entre 2007 y 2024, considerando únicamente artículos, revisiones y contribuciones a conferencias académicas. Se utilizan herramientas computacionales como Python para el análisis de datos, lo que permite una exploración cuantitativa y cualitativa del contenido. Entre las limitaciones se encuentra la exclusión de documentos no indexados o publicados en lenguas distintas al inglés, así como la falta de acceso a bases de datos complementarias como Web of Science o Dimensions. El resto del artículo se organiza como sigue: en la siguiente sección se describen brevemente los fundamentos de la bibliometría y su aplicación al estudio de campos científico-tecnológicos; posteriormente se detallan los datos y la metodología empleada; en la sección de resultados se presentan los principales hallazgos en términos de tendencias, actores clave y áreas temáticas; finalmente, se discuten las implicaciones del análisis y se proponen líneas futuras de investigación.

2. Bibliometría y competitividad científica

La bibliometría se entiende como el uso de métodos estadísticos y matemáticos para analizar la producción científica a partir de publicaciones, citas y patrones de colaboración. Retoma la tradición de la “bibliografía estadística” de principios del siglo XX y se formaliza con la



propuesta de Pritchard (1969), así como con los desarrollos de Garfield en torno a los índices de citas y el factor de impacto, que permitieron evaluar revistas y seguir la influencia de los artículos en el tiempo (Hulme, 1923; Pritchard, 1969; Garfield, 2016; Valero, 2022).

En la evaluación de sistemas de ciencia y tecnología, los estudios bibliométricos permiten describir productividad, impacto y colaboración de autores, instituciones y países, generando diagnósticos útiles para políticas científicas y decisiones de gestión académica (Solano López et al., 2009; Salinas, 2022). Desde esta perspectiva, la competitividad científica puede operacionalizarse como la capacidad relativa de un país para producir conocimiento visible y citado, participar en redes de coautoría y posicionarse en temas de frontera dentro de un campo específico (Salinas, 2022).

La elaboración de una bibliometría implica definir un campo temático y un periodo de análisis, seleccionar una base de datos adecuada y diseñar una estrategia de búsqueda basada en palabras clave, operadores booleanos y filtros por tipo de documento, idioma y área (Mongeon & Paul-Hus, 2016; Donthu et al., 2021). Posteriormente se realiza la depuración y normalización de los registros (autores, instituciones, países, revistas) y se calculan indicadores descriptivos (publicaciones, citas) y relacionales (coautoría, co-ocurrencia de palabras clave, co-citación), que permiten mapear la estructura del campo (Zupic & Čater, 2015; Cobo et al., 2011).

Para ello se emplean herramientas específicas como VOSviewer, CiteSpace, Bibliometrix o entornos de programación como R y Python, que facilitan el análisis de redes y la generación de mapas científicos (Van Eck & Waltman, 2010; Aria & Cuccurullo, 2017; Moral-Muñoz et al., 2020). En este estudio, este marco se aplica al campo de los nanomateriales en energías renovables para comparar la posición de México frente al panorama internacional.

3. Revisión de la literatura

La literatura reciente sobre nanomateriales aplicados a energías renovables muestra un crecimiento sostenido en las últimas dos décadas. Un análisis de más de 150 artículos indexados en Scopus (2007–2024) evidencia un aumento notable de publicaciones entre 2011 y 2023, con



un máximo en 2022, en paralelo al impulso global de políticas de transición energética y reducción de emisiones (Donthu et al., 2021).

En este contexto se distinguen varias líneas de investigación. Una primera se centra en nanocompuestos y nanoestructuras para captación solar, donde nanoarquitecturas basadas en TiO_2 fotónico y el diseño de interfaces en celdas tipo perovskita contribuyen a mejorar eficiencia, flexibilidad y estabilidad operativa (Haque et al., 2019; Xia et al., 2023). Otra línea relevante aborda heterouniones nanométricas y configuraciones tipo Z-scheme para la producción de hidrógeno verde mediante división fotocatalítica del agua bajo luz visible (Lin et al., 2020; Li et al., 2022). También se ha consolidado la investigación en nanocatalizadores y sistemas waste-to-energy que articulan remediación de corrientes residuales y generación de vectores energéticos (Nalla et al., 2025), así como el diseño de nanomateriales para energy harvesting y almacenamiento con énfasis en soluciones energéticas sostenibles (Salvi et al., 2025; Safaei et al., 2025). Finalmente, destacan los avances en síntesis verde y en nanoestructuras catalíticas para procesos de water splitting, con mejoras en actividad y estabilidad (Das et al., 2015; Xin et al., 2017; Munir et al., 2019).

Desde el punto de vista de actores y estructuras, los estudios de coautoría y afiliaciones muestran una alta concentración de trabajos en nanoestructuras para fotovoltaica avanzada (especialmente celdas de perovskita) y fotocátalisis para hidrógeno, soportados por instituciones con trayectoria en síntesis y caracterización de nanomateriales, y por redes de colaboración internacional examinadas mediante indicadores bibliométricos (Haque et al., 2019; Xia et al., 2023; Lin et al., 2020; Li et al., 2022; Mongeon & Paul-Hus, 2016; Donthu et al., 2021). Geográficamente, China, Estados Unidos e India encabezan la producción científica, seguidos por Alemania, Corea del Sur y Japón; China concentra un volumen elevado de artículos, Estados Unidos destaca por su presencia en revistas de alto impacto e India muestra un crecimiento rápido en síntesis verde y aplicaciones solares y catalíticas (Donthu et al., 2021; Mongeon & Paul-Hus, 2016; Das et al., 2015; Madani et al., 2022).



El análisis de palabras clave revela términos recurrentes como graphene, photocatalysis, nanocomposites, green synthesis, perovskite solar cells, hydrogen production y energy storage, lo que confirma la centralidad de materiales basados en carbono, el diseño de nanoestructuras para conversión y almacenamiento energético y la incorporación de enfoques de sostenibilidad (Lee et al., 2008; Haque et al., 2019; Ong et al., 2021; Munir et al., 2019). En años recientes se observa, además, la emergencia de conceptos como biodegradable nanomaterials, circular economy y nanocircularity, que reflejan una preocupación creciente por el ciclo de vida de los dispositivos y la integración de principios de economía circular en el diseño de nanomateriales (Khosravi et al., 2024; Temizel-Sekeryan & Hicks, 2020; Madani et al., 2022). Estas tendencias se complementan con propuestas waste-to-energy y con nanomateriales para recolección y almacenamiento de energía en aplicaciones portátiles y urbanas (Nalla et al., 2025; Salvi et al., 2025; Safaei et al., 2025).

La revisión muestra un campo dinámico, fuertemente internacionalizado y orientado a la integración de desempeño energético y sostenibilidad. Este panorama justifica analizar, desde una perspectiva bibliométrica comparativa, el posicionamiento específico de México y sus brechas de competitividad en la aplicación de nanomateriales en energías renovables.

4. Metodología

Este estudio adopta un diseño cuantitativo de tipo bibliométrico para analizar la dinámica global de la investigación en nanomateriales aplicados a energías renovables y situar en ese contexto la competitividad científica de México. La bibliometría se utiliza aquí para describir patrones de productividad, impacto, colaboración y evolución temática mediante indicadores e instrumentos relacionales.

La fuente de información fue un archivo en formato .csv descargado de Scopus con 846 registros de publicaciones (2007–2024) relacionados con nanotecnología y energías renovables, del que se derivó un subconjunto mexicano integrado por los documentos con al menos una afiliación en México, considerando el periodo 2013–2024. Cada registro aporta metadatos (título, autores, año, afiliaciones, revista, citas y palabras clave), que sirven de base para construir indicadores y redes



de colaboración. La elección de Scopus se justifica por su amplia cobertura y uso extendido en estudios comparativos.

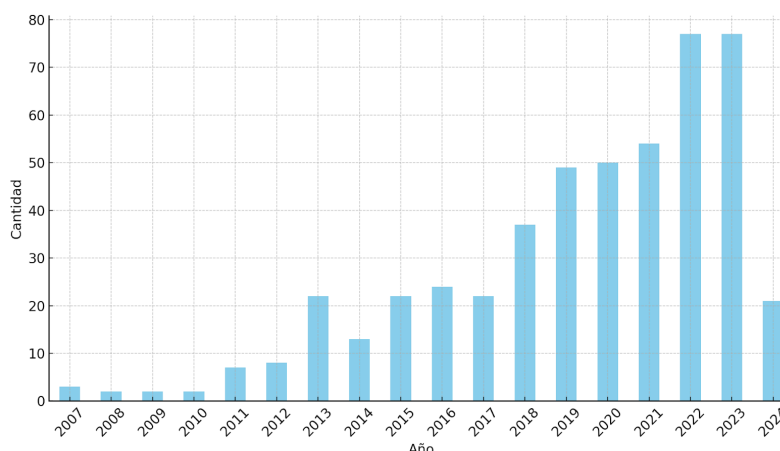
El procesamiento se realizó con Python en Google Colab, automatizando la depuración, transformación y análisis de los datos. Previamente se aplicó un protocolo de limpieza que incluyó: eliminación de registros incompletos, normalización de formatos numéricos (años y citas), unificación de palabras clave (minúsculas y eliminación de espacios redundantes) y separación de campos múltiples (autores, afiliaciones, países) en listas analizables. Este tratamiento estandarizó la base y aseguró la consistencia de los resultados.

A partir del corpus global y del subconjunto mexicano se calcularon indicadores de productividad anual (publicaciones por año), impacto (citas por año), revistas fuente, palabras clave y tendencias temáticas, así como la distribución por instituciones y países. Además, se construyó una red de coautoría (nodos = autores, aristas = colaboraciones) y se elaboraron visualizaciones mediante gráficas de barras y líneas, grafo de red y nube de palabras, con el fin de comparar el perfil global del campo y la trayectoria específica de México.

5. Resultados

El corpus global estuvo integrado por 846 documentos publicados entre 2007 y 2024 sobre nanomateriales aplicados a energías renovables. La producción anual muestra una tendencia claramente creciente a partir de 2011, con un aumento sostenido y un máximo de 77 publicaciones en 2022 y 77 en 2023, lo que indica una fase de consolidación del campo.

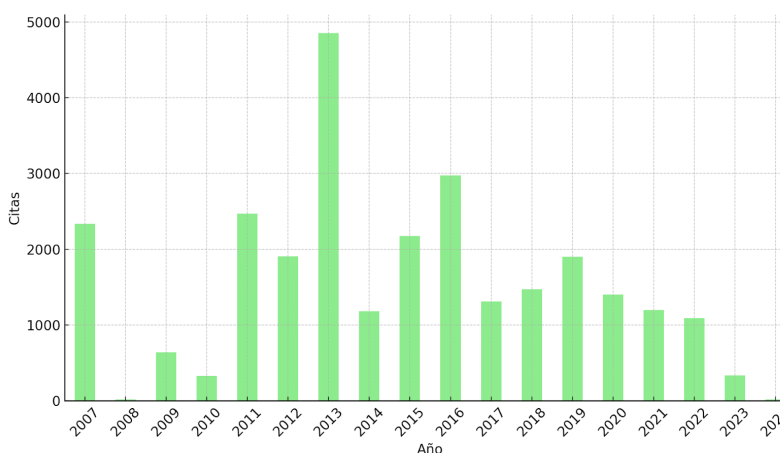
Figura 1. Número de publicaciones por año



Fuente: elaboración propia.

El impacto medido por citas presenta un comportamiento distinto al de la productividad. El mayor número de citaciones se registra en 2013 (4 854 citas), seguido de valores elevados en 2011 y 2016, mientras que los años más recientes tienen menos citas debido al menor tiempo de exposición. Esta diferencia entre curva de producción y curva de citas permite distinguir entre la fase de acumulación de trabajos muy citados y la expansión reciente del volumen de publicaciones.

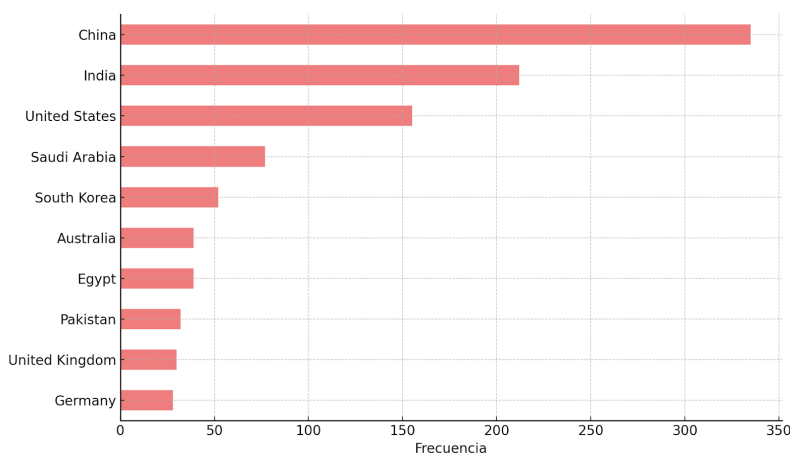
Figura 2. Número de citas por año.



Fuente: elaboración propia.

La distribución geográfica de la producción evidencia una fuerte concentración. China, India y Estados Unidos encabezan el número de publicaciones, seguidos por Alemania y Reino Unido, configurando un núcleo de países que dominan la investigación en nanomateriales y energías renovables y que sirven como referencia para evaluar la posición relativa de México dentro del campo.

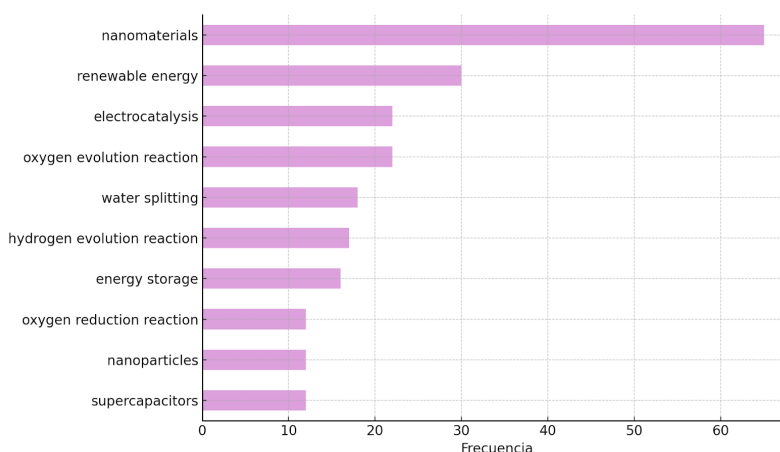
Figura 3. Países con mayor producción.



Fuente: elaboración propia.

El análisis de palabras clave confirma la orientación temática del campo global. Entre los términos más frecuentes aparecen nanomaterials, renewable energy, electrocatalysis, oxygen evolution reaction y water splitting, junto con conceptos asociados a producción de hidrógeno y procesos electroquímicos avanzados. Esto indica que una parte importante de la agenda científica se centra en procesos catalíticos y fotocatalíticos para conversión y almacenamiento de energía.

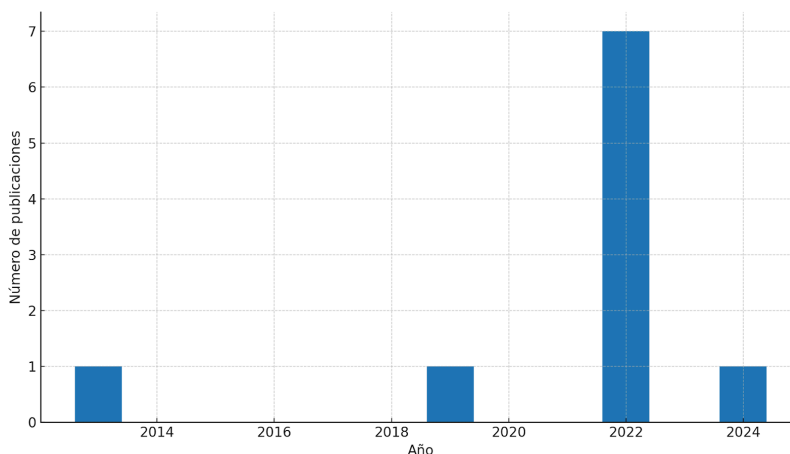
Figura 4. Top 10 Palabras clave más frecuentes.



Fuente: elaboración propia.

En el caso de México, el subconjunto nacional estuvo formado por 10 publicaciones con al menos una afiliación mexicana en el periodo 2013–2024, que en conjunto acumularon 70 citas. La trayectoria temporal muestra una participación intermitente en los primeros años y un incremento visible hacia el final del periodo, con un pico de productividad en 2022, lo que sugiere una incorporación tardía pero creciente al campo.

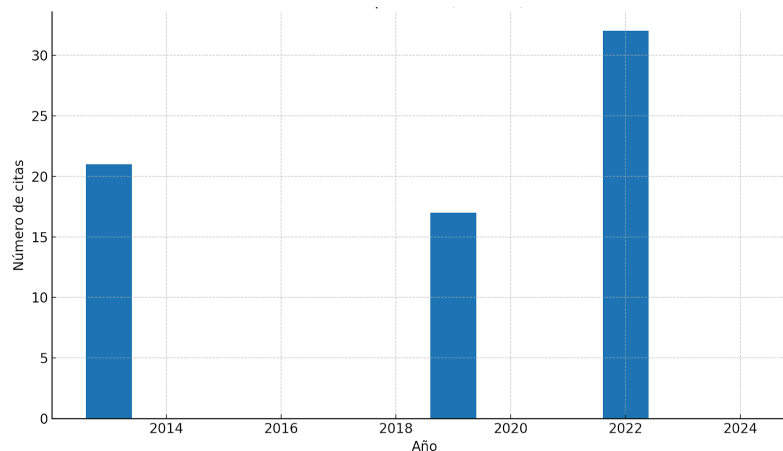
Figura 5. Publicaciones de México por año.



Fuente: elaboración propia.

Las citas recibidas por las contribuciones mexicanas se concentran principalmente en 2013 y 2022, años en los que se publican trabajos que alcanzan mayor visibilidad. Aun cuando el volumen total de documentos es reducido, esta distribución sugiere que existen aportes puntuales con un impacto relativamente alto dentro de la literatura analizada.

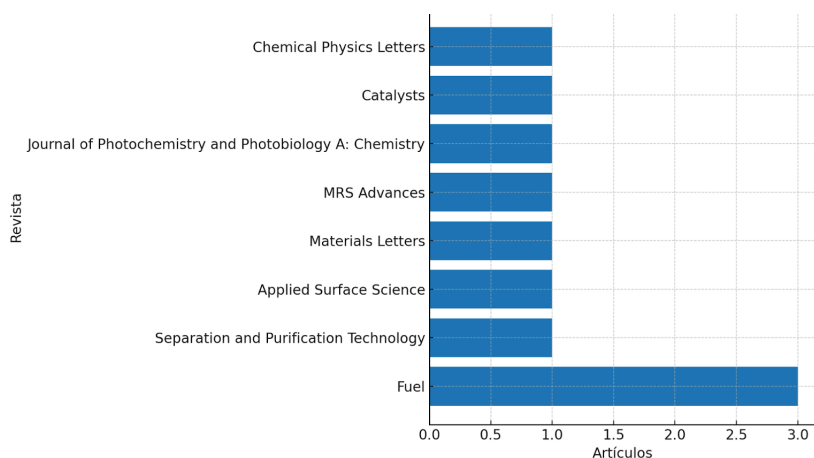
Figura 6. Citas de México por año.



Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los canales de difusión, la producción mexicana se concentra en pocas revistas. Fuel reúne tres artículos con participación de instituciones mexicanas, mientras que el resto se distribuye en revistas especializadas en ciencia de materiales y aplicaciones energéticas. Este patrón apunta a una estrategia de publicación que combina títulos enfocados en combustibles y energía con revistas de materiales funcionales.

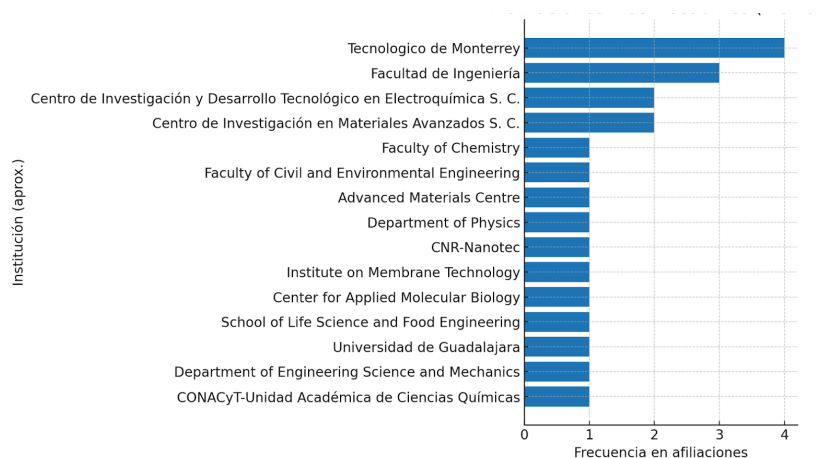
Figura 7. Top 10 revistas por número de artículos donde participa México.



Fuente: elaboración propia.

El análisis institucional muestra que la mayor parte de la producción mexicana se concentra en un núcleo limitado de instituciones, entre las que destacan el Tecnológico de Monterrey, una Facultad de Ingeniería y el CIMAV, acompañadas por otros centros con menor frecuencia de aparición. La red de coautoría asociada a estas instituciones es compacta, pero incluye colaboraciones internacionales selectivas que contribuyen a la visibilidad del corpus mexicano en un entorno global dominado por países con mayor capacidad instalada.

Figura 8. Instituciones más productivas de México.



Fuente: elaboración propia.



Las palabras clave vinculadas al subconjunto mexicano muestran afinidad con las tendencias globales, aunque con énfasis específicos. Se observan términos relacionados con bioenergía, catalizadores, aprovechamiento de residuos y economía circular, junto con conceptos ligados a producción de hidrógeno, water splitting y oxygen evolution reaction. Esto indica que la investigación desarrollada en México se inserta en líneas de frontera del campo, pero desde una escala más limitada y apoyada en pocas instituciones, lo que ayuda a explicar las brechas de competitividad frente a los países líderes.

6. Discusión de resultados

La discusión bibliométrica muestra que la investigación en nanomateriales aplicados a energías renovables atraviesa una fase de consolidación global: el crecimiento sostenido de publicaciones desde 2011 y los máximos de 2022–2023 reflejan la madurez de líneas asociadas con nanotecnología, energías limpias y catálisis electroquímica, impulsadas por agendas de transición energética y sostenibilidad. Al mismo tiempo, los años más productivos no son los más citados, lo que evidencia un desfase típico de campos emergentes y obliga a interpretar de manera conjunta volumen e impacto, así como a cuidar las estrategias de publicación en revistas de alto factor de impacto y en temáticas emergentes para incrementar la visibilidad.

En términos geográficos, la concentración de publicaciones en China, India, Estados Unidos, Alemania y Reino Unido configura una estructura centro–periferia, donde unos pocos sistemas científicos ocupan posiciones centrales en las redes de producción, mientras otros permanecen con participación marginal. En este escenario, México aparece con una producción todavía limitada (10 artículos y 70 citas entre 2013 y 2024), pero con señales claras de crecimiento reciente y un pico en 2022. La presencia en revistas como Fuel y otros títulos de materiales y energía, así como la concentración de la producción en un núcleo reducido de instituciones (Tecnológico de Monterrey, una Facultad de Ingeniería y CIMAV), indica que la competitividad del país descansa en pocos grupos altamente conectados, aunque con colaboraciones internacionales que aumentan la visibilidad.



Desde el punto de vista temático, México se alinea con las tendencias globales pero con énfasis propios en bioenergía, nanocatalizadores, biorefinerías, grafeno reducido, aprovechamiento de residuos y economía circular, en coherencia con retos nacionales en agua, energía y remediación ambiental, y con los debates sobre síntesis verde y nanocircularidad. En conjunto, los resultados sugieren que la competitividad científica de México en este campo sigue siendo frágil en términos de volumen y masa crítica, pero muestra una articulación creciente con las corrientes centrales, lo que abre una ventana para políticas científicas y estrategias institucionales orientadas a consolidar capacidades y reducir la distancia frente a los países líderes.

7. Conclusiones

El análisis bibliométrico permitió caracterizar la dinámica global de la investigación en nanomateriales aplicados a energías renovables y situar en ese marco la participación de México. A escala internacional se observa un crecimiento sostenido de la producción desde 2011, con picos en 2022 y 2023, y una concentración geográfica en un núcleo de países con fuerte inversión en ciencia y tecnología, en particular China, India, Estados Unidos, Alemania y Reino Unido. Las temáticas dominantes giran en torno a procesos electrocatalíticos y fotocatalíticos, producción de hidrógeno y conversión eficiente de energía.

En este contexto, la producción mexicana sobre nanomateriales en energías renovables entre 2013 y 2024 es reducida, con 10 publicaciones y 70 citas, aunque muestra un crecimiento notable en los años recientes y una mayor concentración en 2022. La difusión en revistas como *Fuel* y otros títulos especializados en materiales y energía, así como la participación de instituciones como el Tecnológico de Monterrey, la Facultad de Ingeniería y el CIMAV, indican la existencia de núcleos activos que conectan con redes internacionales y temáticas de frontera.

La agenda temática mexicana se alinea con tendencias globales en bioenergía, nanocatalizadores y economía circular, y se vincula con oportunidades específicas para atender retos nacionales en agua, energía y remediación mediante enfoques de síntesis verde y nanomateriales diseñados bajo criterios de sostenibilidad. Este perfil sugiere que México posee capacidades científicas



relevantes, aunque aún no consolidadas, para contribuir a la transición energética desde una perspectiva tecnológica y ambientalmente responsable.

Los resultados respaldan la necesidad de fortalecer tres frentes complementarios: consolidación científica e infraestructura en nanomateriales para energías renovables, ampliación y densificación de redes de colaboración nacional e internacional, y diseño de políticas que integren innovación con evaluación de riesgos y criterios de economía circular. Desde la perspectiva de investigación futura, sería pertinente ampliar el análisis a otras bases de datos, incorporar indicadores de transferencia tecnológica y explorar con mayor detalle la articulación entre capacidades científicas, instrumentos de financiamiento y prioridades energéticas nacionales. Con ello, los estudios bibliométricos pueden convertirse en insumos estratégicos para orientar agendas de investigación y decisiones de política pública en un campo clave para la transición energética de México.

8. Referencias

- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975.
- Auffan, M., Rose, J., Bottero, J. Y., Lowry, G. V., Jolivet, J. P., & Wiesner, M. R. (2009). Towards a definition of inorganic nanoparticles from an environmental, health and safety perspective. *Nature Nanotechnology*, 4(10), 634–641.
- Bhushan, B. (Ed.). (2017). *Springer handbook of nanotechnology*. Springer.
- Chen, D., Cheng, Y., Zhou, N., Chen, P., Wang, Y., Li, K., ... Ruan, R. (2020). Photocatalytic degradation of organic pollutants using TiO₂-based photocatalysts: A review. *Journal of Cleaner Production*, 268, 121725.
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2011). Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 62(7), 1382–1402.
- Cole, F. J., & Eales, N. B. (1917). The history of comparative anatomy: Part I—A statistical analysis of the literature. *Science Progress*, 11(44), 578–596.
- CONACYT. (2020). *Mapa de capacidades científicas y tecnológicas en nanotecnología*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.



Das, S., Sen, B., & Debnath, N. (2015). Recent trends in nanomaterials applications in environmental monitoring and remediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(23), 18333–18344.

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.

Genchi, G. G., Marino, A., Grillone, A., Pezzini, I., & Ciofani, G. (2017). Remote control of cellular functions: The role of smart nanomaterials in the medicine of the future. *Advanced Healthcare Materials*, 6(9), 1700002.

Hansen, S. F., Michelson, E. S., Kamper, A., Borling, P., Stuer-Lauridsen, F., & Baun, A. (2008). Categorization framework to aid exposure assessment of nanomaterials in consumer products. *Ecotoxicology*, 17(5), 438–447.

Haque, S., Mendes, M. J., Sanchez-Sobrado, O., Águas, H., Fortunato, E., & Martins, R. (2019). Photonic-structured TiO₂ for high-efficiency, flexible and stable perovskite solar cells. *Nano Energy*, 59, 91–101.

Hulme, E. W. (1923). *Statistical bibliography in relation to the growth of modern civilization*. Cambridge University.

Keller, A. A., McFerran, S., Lazareva, A., & Suh, S. (2013). Global life cycle releases of engineered nanomaterials. *Journal of Nanoparticle Research*, 15(6), 1692.

Khan, I., Saeed, K., & Khan, I. (2019). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7), 908–931.

Khosravi, A., Zarepour, A., Iravani, S., Varma, R. S., & Zarrabi, A. (2024). Sustainable synthesis: Natural processes shaping the nanocircular economy. *Environmental Science: Nano*, 11(3), 688–707.

Lau, E. Z., Frederick, S., & Foladori, G. (2014). Twelve years of nanoscience and nanotechnology publications in Mexico. *Journal of Nanoparticle Research*, 16(1), 2193.

Lee, C., Wei, X., Kysar, J. W., & Hone, J. (2008). Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene. *Science*, 321(5887), 385–388.

Li, Y. H., Qi, M. Y., Tang, Z. R., & Xu, Y. J. (2022). Coupling organic synthesis and hydrogen evolution over composite WO₃/ZnIn₂S₄ Z-scheme photocatalyst. *Journal of Physical Chemistry C*, 126(4), 1872–1880.

Lin, Y., Zhang, Q., Li, Y., Liu, Y., Xu, K., Huang, J., ... Peng, F. (2020). The evolution from a typical type-I CdS/ZnS to type-II and Z-scheme hybrid structure for efficient and stable hydrogen production under visible light. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(11), 4537–4546.



- Madani, M., Hosny, S., Alshangiti, D. M., Nady, N., Alkhursani, S. A., ... Gaber, G. A. (2022). Green synthesis of nanoparticles for varied applications: Green renewable resources and energy-efficient synthetic routes. *Nanotechnology Reviews*, 11(1), 731–759.
- Maurer-Jones, M. A., Gunsolus, I. L., Murphy, C. J., & Haynes, C. L. (2013). Toxicity of engineered nanoparticles in the environment. *Analytical Chemistry*, 85(6), 3036–3049.
- Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2016). The journal coverage of Web of Science and Scopus: A comparative analysis. *Scientometrics*, 106(1), 213–228.
- Moral-Muñoz, J. A., Herrera-Viedma, E., Santisteban-Espejo, A. L., & Cobo, M. J. (2020). Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review. *El Profesional de la Información*, 29(1), e290103.*
- Munir, A., Joya, K. S., Ul Haq, T., Babar, N. U. A., Hussain, S. Z., Qurashi, A., ... Hussain, I. (2019). Metal nanoclusters: New paradigm in catalysis for water splitting, solar and chemical energy conversion. *ChemSusChem*, 12(8), 1517–1548.
- Nalla, B. T., Choudhary, B. K., Sunil Kumar, M., Ramachandra, C. G., Vaghela, D. R., Pradhan, P., ... Kamakshi Priya, K. (2025). Nanocatalyst-enabled waste-to-energy systems: From material innovation to techno-economic and sustainability pathways. *Reviews in Inorganic Chemistry*.
- Ong, W. J., Zheng, N., & Antonietti, M. (2021). Advanced nanomaterials for energy conversion and storage: Current status and future opportunities. *Nanoscale*, 13(22), 9904–9907.
- Otlet, P. (1934). *Traité de documentation: Le livre sur le livre, théorie et pratique*. Mundaneum.
- Pritchard, A. (1969). Statistical bibliography or bibliometrics? *Journal of Documentation*, 25(4), 348–349.
- Roco, M. C., Mirkin, C. A., & Hersam, M. C. (2011). Nanotechnology research directions for societal needs in 2020: Summary of international study. *Journal of Nanoparticle Research*, 13(3), 897–919.
- Romanos de Tiratel, S. (2008). Paul Otlet, el antepasado olvidado: revisión bibliográfica I. Aspectos biográficos, históricos y teóricos. *Información, Cultura y Sociedad*, 18, 13–36.
- Safaei, B., Peiravian, M., & Siamaki, M. (2025). Eco-friendly IoT: Leveraging energy harvesting for a sustainable future. *IEEE Sensors Reviews*.
- Salinas, K., & García, A. (2022). Bibliometría, una herramienta útil dentro del campo de la investigación. *Journal of Basic and Applied Psychology Research*, 3(6).



Salvador Oliván, J. A., & Agustín Lacruz, M. C. (2015). Correlación entre indicadores bibliométricos en revistas de Web of Science y Scopus. *Ibersid*, 9, 57–66.

Salvi, S. S., Ambikeswari, N., Mohanrajhu, N., Velmurugan, V., Sharma, V., Sarojwal, A., & Saidulu, G. (2025). Nanomaterials for sustainable energy harvesting and storage. *AIP Conference Proceedings*, 3300(1), 020002.

Serrano, E., Rus, G., & García-Martínez, J. (2009). Nanotechnology for sustainable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2373–2384.

Singh, J., Dutta, T., Kim, K. H., Rawat, M., Samddar, P., & Kumar, P. (2018). “Green” synthesis of metals and their oxide nanoparticles: Applications for environmental remediation. *Journal of Nanobiotechnology*, 16(1), 84.

Solano López, E., Castellanos Quintero, S., López Rodríguez del Rey, M., & Hernández Fernández, J. (2009). La bibliometría: Una herramienta eficaz para evaluar la actividad científica postgraduada. *MediSur*, 7(4), 59–62.

Soto Vázquez, R., Foladori, G., & Záyago Lau, E. (2024). Desafíos de la investigación nanomédica en México. *Entreciencias*, 12(26).

Temizel-Sekeryan, S., & Hicks, A. L. (2020). Global environmental impacts of silver nanoparticle production methods supported by life cycle assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, 156, 104676.

Valero, J. S. (2022). Bibliometría: Origen y evolución. *Hospital a Domicilio*, 6(3), 105–107.

Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538.

Xia, J., Sohail, M., & Nazeeruddin, M. K. (2023). Efficient and stable perovskite solar cells by tailoring of interfaces. *Advanced Materials*, 35(31), 2211324.

Xin, Y., Kan, X., Gan, L. Y., & Zhang, Z. (2017). Heterogeneous bimetallic phosphide/sulfide nanocomposite for efficient solar-energy-driven overall water splitting. *ACS Nano*, 11(10), 10303–10312.

Zäch, M., Häggglund, C., Chakarov, D., & Kasemo, B. (2006). Nanoscience and nanotechnology for advanced energy systems. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 10(3–4), 132–143.

Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472.