



Estudio bibliométrico sobre nanociencia y nanotecnología em México basado em la Web of Science

José L. Trujillo C.¹; César H. Limaymanta²

Recibido: 2 de junio de 2022/ Aceptado: 3 de julio de 2022

Resumen. Es evidente que el desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología tendrán un impacto importante en varios campos de acción y estarán vinculadas al desarrollo de un país, por lo que su estudio es fundamental; por otra parte, la cantidad de información generada hoy en día hace difícil estudiar un tema científico. Por lo que se necesitan herramientas de análisis de información, tanto metodológicas como tecnológicas; en este contexto, las metodologías métricas son las adecuadas para estudiar un campo científico como este; por lo que el presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio bibliométrico sobre el desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología en México a partir del uso del mapeo científico. Se usaron como métodos y procedimientos el análisis documental y el uso de indicadores métricos de actividad e indicadores relacionales. En el caso práctico se tomaron los datos de la Base de datos de la *Web of Science* y para el desarrollo de los mapas científico-tecnológicos se usó *Bibliometrix*. Recuperamos 15,876 artículos de investigación sobre N&N publicados entre 1975 y 2021. Los resultados preliminares muestran que recibieron en promedio 17.61 citas por artículo, los cuales fueron publicados en 2567 revistas, más del 98% de los artículos está escritos en inglés, y en cuanto a los autores existe un promedio de 5.66 por documento.

Palabras clave: Estudios bibliométricos de la Información-Mapas; Mapas bibliométricos-Mapas de la ciencia-México, Estudios bibliométricos-Nanociencia; Estudios bibliométricos-Nanotecnología.

[en] Bibliometric study on nanoscience and nanotechnology in Mexico based on Web of Science

Abstract. It is evident that the nanosciences and nanotechnologies field will have a significant impact on various fields of action and will be linked to the development of a country, so their study is fundamental; On the other hand, the amount of information generated today makes it difficult to study a scientific topic. Therefore, information analysis tools are needed, both methodological and technological; in this context, metric methodologies are adequate to study a scientific field like this; Therefore, the present work aims to carry out a bibliometric study on the development of nanoscience and nanotechnology in Mexico based on the use of scientific mapping. Documentary analysis and the use of metric indicators of activity and relational indicators were used as methods and procedures. In

¹ Universidad Nacional Autónoma de México, México
<https://orcid.org/0000-0002-8049-0737>
E-mail: seriadas@dgb.unam.mx

² Universidad Nacional Mayor de San Marco
<https://orcid.org/0000-0002-8797-4275>
E-mail: climaymanta@unmsm.edu.pe

the practical case, the data was taken from the Web of Science Database and Bibliometrix was used to develop the scientific-technological maps. We retrieved 15,876 research articles on N&N published between 1975 and 2021. The experimental results showed that they received an average of 17.61 citations per article, which were written in 2567 journals, more than 98% of the articles are written in English, and as for authors there is an average of 5.66 by document.

Keywords: Information bibliometric studies – Maps; Bibliometric Maps - Science Maps - Mexico, Bibliometric Studies - Nanoscience; Bibliometric studies - Nanotechnology

Sumario. 1. Introducción. 2. Metodología. 3. Resultados. 4. Conclusiones. 5. Obras consultadas

Cómo citar: Trujillo C., J.L.; Limaymanta, C. H. (2023), Estudio bibliométrico sobre nanociencia y nanotecnología en México basado en la Web of Science, en *Revista General de Información y Documentación* 33 (1), 175-201.

1. Introducción

En los últimos tiempos, las palabras nanociencia y nanotecnología (N&N en adelante) se han incorporado al lenguaje cotidiano, estas palabras las encontramos en noticias sobre avances científicos como en el tratamiento de enfermedades como el cáncer o en diferentes productos como en los neumáticos de un coche, en la pasta para dientes, en la crema de protección solar, en raquetas y pelotas de tenis, en las prendas de vestir como camisas, pantalones y en la ropa interior, etc., con nuevas propiedades como: más pequeños; más luminosos; más baratos, mercancías para el consumidor mejoradas con más resistencia al agua, a la suciedad y la mugre, pero ¿Qué son la N&N?

1.1. Definición de Nanociencia y Nanotecnología

La nanociencia y la nanotecnología son disciplinas que investigan los fenómenos y las aplicaciones sobre la materia las cuales proveen nuevas herramientas para diseñar novedosos productos y componentes en electrónica, o avances fundamentales en otras disciplinas como en la física, la química, la biología molecular, la medicina, el medio ambiente, las industrias químicas y farmacéuticas entre otras. Para Cornejo (2015) la nanociencia es la rama del conocimiento que estudia las propiedades y la manipulación de la materia a una escala nanométrica, generalmente comprendida entre 0,1-100 nm (1 nm = 10^{-9}). El campo de estudio de la nanociencia se centra en el comportamiento y la manipulación de los átomos y de las moléculas, las cuales manifiestan diferentes propiedades a la de los materiales en una escala mayor.

En tanto que para la Iniciativa Nacional de Nanotecnología de los Estados Unidos (NNI por sus siglas en inglés) la nanotecnología es la ciencia aplicada enfocada al diseño, caracterización, producción y a la aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas que, mediante una manipulación controlada de las nanopartículas, producen estructuras, dispositivos y sistemas con propiedades o características nuevas o superiores. En esencia el objetivo de la nanotecnología es

conseguir el ensamble y control de las nanopartículas que produzcan a macro escala objetos y productos nanoestructurados con propiedades diferentes y superiores (National Nanotechnology Initiative, 2022).

1.2. Contexto Internacional y nacional de la N&N

A nivel mundial se han implementado diferentes iniciativas para el desarrollo de la N&N. Por ejemplo, según Tanaka (2021) la Unión Europea desarrollo su política pública sobre N&N a finales de la década de los 90 del siglo pasado, como parte de su programa de investigación en el Framework Programme 5 (FP5) del periodo 1998-2002. A partir de esa fecha, ha permanecido inserta y cada vez con mayor énfasis en sus programas de investigación, innovación y desarrollo FP6, FP7 y en el Horizon 2020, contando con una inversión pública común entre las primeras dos décadas de este siglo de €6,454.8 millones de euros.

Por su parte EUA creó en el año 2000 La NNI, la cual coordina el trabajo de 25 agencias federales del gobierno americano en investigación, aplicaciones y regulación de N&N. Es decir, desde un inicio la investigación y desarrollo en N&N se planteó como una iniciativa del gobierno la cual entre 2001 a 2021 había recibido al menos 31 mil millones de dólares de inversión pública (National Nanotechnology Initiative, 2021)

En el contexto mexicano, entre 1998 y 2004 se habían apoyado 152 proyectos en N&N, los cuales recibieron el financiamiento por un monto estimado en 14.4 millones de dólares (53% en el área de materiales, 14% en química, 14% en electrónica, y 12% en física) (Foladori et al., 2015); en importante resaltar que se considera a la nanotecnología como un área estratégica de desarrollo, donde se establece que esta tecnología junto con otras tecnológicas emergentes como la biotecnología, mecatrónica, son fundamentales para contribuir a mejorar el nivel de vida de la sociedad y lograr una competitividad (México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2018)

Ante una esfera del conocimiento trascendental para el país, urgen estudios e indicadores que reflejen y midan la ejecución estratégica de la N&N y las disciplinas instrumentales que ofrecen una base teórica y las herramientas para lograr lo anterior son las comprendidas dentro del campo de estudio de las métricas (cienciometría, informetría, bibliometría, patentometría, webmetría, entre otras).

1.3. Los estudios bibliométricos en el mapeo científico

Los estudios bibliométricos son una herramienta eficaz para detectar y analizar el surgimiento de nuevas tecnologías, estos estudios consisten en el análisis estadístico de las publicaciones científicas, que adopta los indicadores cuantitativos de desempeño (Chen & Guan, 2011), es decir, son definidos como la aplicación de métodos y modelos matemáticos para el análisis de la producción y comunicación científica en una ciencia dada; así como para la revelación de sus leyes y regularidades (Gorbea Portal, 2001), este tipo de estudios son adecuados para realizar macro análisis, como participación de un país o región en la producción

científica durante un periodo de tiempo específico, y para los microanálisis. Por ejemplo, del papel de un autor o institución en la producción de artículos; también puede ayudar a valorar el estado actual de la ciencia y apoyar en la toma de decisiones y en la dirección de la investigación (Macias-Chapula, 2001).

Los estudios cuantitativos de la ciencia han desarrollado métodos y herramientas para comprender mejor la organización de los campos de la ciencia y su evolución. Los mapas globales de la ciencia se han convertido recientemente en herramientas viables que ofrece una vista preliminar general de los campos científicos. (Grauwin & Jensen, 2011). En general, un mapa de la ciencia se compone de un conjunto de elementos; estos elementos pueden ser campos o disciplinas científicas, revistas, documentos, o cualquier otra unidad que representa una partición de la ciencia (Klavans & Boyack, 2009), entre los principales objetos de estudio de los estudios bibliométricos planteados en los mapas científicos según Tague Sutcliffe (1994) están (i) los aspectos estadísticos del lenguaje y la frecuencia de las palabras y frases, (ii) las características de la productividad autorial, (iii) las características de las fuentes publicadas por disciplinas, (iv) los análisis de citas, teniendo en cuenta varios niveles de agregación, (v) la obsolescencia de la literatura y (vi) el incremento de la literatura por temas.

Existen varias herramientas para el desarrollo de mapas bibliométricos o de la ciencia. Entre los más conocidos encontramos softwares como Pajek, Vosviewer y Viscosity somine® (Guzmán SMV & Trujillo CJL, 2013). También es importante resaltar que estas herramientas de software especializadas comúnmente realizan solo ciertos pasos del análisis de mapas científicos. Solo una pequeña cantidad de estos permiten a los académicos seguir el flujo de trabajo completo; pero el software bibliometrix (<https://www.bibliometrix.org/home/>) es una herramienta de código abierto para ejecutar un análisis completo de mapeo científico de la literatura científica. Bibliometrix es un software programado en R, esta herramienta es flexible y puede actualizarse e integrarse rápidamente con otros paquetes estadísticos de R. Es importante resaltar que se puede utilizar con interfaz de Biblioshiny, que facilita el empleo de este software (Aria & Cuccurullo, 2017)

1.4. Revisión de la literatura

Los Los análisis bibliométricos de los artículos publicados y de las patentes son una de las herramientas esenciales para el seguimiento de las tendencias científico/tecnológica; y la nanotecnología no es una excepción. Es importante destacar que los análisis bibliométricos se realizan a través de un enfoque de recuperación de información estándar que permite que se hagan distinciones entre los artículos/patentes relevantes e irrelevantes, en una base de datos científico/tecnológica, con el fin de recuperar, contar y analizar los resultados. (Maghrebi et al., 2011)

A lo largo de las últimas dos décadas se ha desarrollado una amplia literatura sobre el estudio de los patrones de publicación en el campo de la N&N; en estos estudios se ha tratado de obtener una comprensión más profunda de temas tales como:

- ¿Cómo se lleva a cabo la investigación en N&N?,
- ¿Cuál es el campo de investigación más establecido?,
- ¿Cómo y dónde están siendo desarrolladas las N&N? y
- ¿Cuál es su impacto económico y su potencial?

Las bases de datos para desarrollar esos estudios fueron: SCI-E “Science Citation Index – Expanded (ISI-Expanded), la base de datos de Scopus (Elsevier), las bases de patentes United States of Patent of Trade Office (USPTO), la Japanese Patent Office (JPO) y la European Patent Office (EPO).

En el artículo de Braun et al. (1997) uno de los primeros artículos publicados sobre N&N, se estableció el crecimiento exponencial y las tendencias de los términos del prefijo nano especialmente en los artículos de revistas; en tanto que en Giwa et al. (2022) y Huang et al. (2021) analizaron las tendencias de investigación de los nanofluidos y de nanosistemas inhalables respectivamente, en estos artículos se reveló el proceso de transformación de esta área investigación emergente. Meyer y Persson (1998), Finardi y Lamberti (2021) muestran la naturaleza interdisciplinaria de la nanotecnología; en tanto que Schummer (2004) analizó el desarrollo de la investigación científica de la N&N en 600 artículos publicados en ocho revistas durante el periodo 2002 y 2003 y también analizó la multidisciplinaria e interdisciplinaria de la colaboración en este campo de la investigación.

Leydesdorff y Zhou (2007) delimitaron o delimitaron el estudio de la N&N en términos de las revistas y de patentes; en otro estudio desarrollado por Leydesdorff (2008) analizó 12 revistas en el año de 2005, e indica el desarrollo interdisciplinar de la N&N en los campos de la física aplicada, la química, y las ciencias biológicas. En este mismo orden de ideas Zitt y Bassecouard (2006) realizaron una consulta léxico colectiva y abreviada para la delimitación de las publicaciones de nanotecnología, Porter et al. (2008) por su parte realizaron un estudio de refinación de términos en las búsquedas sobre N&N, en tanto que Youtie et al. (2020) examinaron el alcance de la autoría corporativa y la colaboración en publicaciones de nanotecnología entre los años 2000 al 2019; estudio en el cual se identificó 53,200 publicaciones corporativas de nanotecnología.

Para Kostoff et al. (2007) el número de publicaciones científicas sobre N&N ha crecido de manera exponencial, debido a las posibles aplicaciones de la N&N; e Igami (2008) considera a la N&N como un campo de investigación muy prometedor que tendrá importantes beneficios económicos y sociales en el futuro. Por otra parte, en la literatura científica y de patentes se ha utilizado diversas técnicas para estudiar el desarrollo de la N&N, como el análisis de citas en Meyers (2001), el mapeo de flujo de citas de Bassecouard et al. (2007), el análisis de patentes de Hullmann y Meyer (2003) y el de Huang et al. (2004) en la que se establece que la investigación en nanotecnología a nivel mundial ha experimentado un rápido crecimiento en los últimos años. El estado del arte y desarrollo de la N&N fue revisado en trabajos como en el de Li et al. (2009), Humllman (2007) y Kostoff et al. (2006). En tanto que Li et al. (2008) llevaron a cabo un estudio longitudinal del estado de desarrollo de la nanotecnología a nivel mundial;

llegando a la conclusión que los principales países innovadores sobre la N&N son Estados Unidos, los países que conforman la Comunidad Económica Europea y los países asiáticos como China, Japón, Corea entre otros.

1.4.1. Estudios bibliométricos sobre N & N en los que se incluye México

En este sentido la visibilidad de México en el área de N&N se ve reflejada en los artículos publicados a nivel internacional como el publicado por Leydesdorff (2008) artículo en el cual se aborda el estudio de la N&N desde el punto de vista de las patentes y los artículos publicados en revistas científicas; en la tabla tres se muestra la distribución de las patentes de 37 países sobre "nanotecnología" de la categoría (Y01N), la cual arrojó 762 patentes; 799 direcciones y en la que México ocupa el lugar 34 con una patente registrada.

En el volumen 70 de *Scientometrics* se publicaron tres artículos sobre N&N, en el primero artículo Lin y Zang (2007) analizan la literatura sobre N&N y la relación de las publicaciones periódicas con las patentes; en la figura uno nos presenta a los 30 países más productivos en termino de publicaciones, en el cual se destaca que los países más productivos son los más desarrollados económicamente, tal es el caso de los EUA, Japón, Alemania, Francia y el Reino Unido, en tanto que países en vías de desarrollo como China e India se ubican en los lugares 3 y 13; un dato que es importante de resaltar en este estudio es el de que México ocupa el lugar 24 de esta lista y Brasil, otro país latinoamericano está ubicado en el lugar 19.

El segundo artículo fue publicado por Kostoff et al. (2007) y en la tabla seis de este documento, México aparece en el lugar 24 de los 30 países más productivos sobre N&N con 518 documentos publicados sobre N&N. Finalmente, Angela Hullman (2007) publicó el tercer artículo en el que se analiza el estado del arte, con base en los productos disponibles y de las proyecciones de mercado, en la tabla uno nos presenta el financiamiento público mundial por país, estimada en miles de euros para I+D de la nanotecnología en el año 2004; en la que se estima que México gastó para ese año 10, 000 euros.

Para el año 2006 Alencar et al. (2006) publican en la revista *Fennia* "The trends and geography of nanotechnological Research" en este documento se presenta un estudio de tendencia y desarrollo regional de la N&N basado en el análisis de las publicaciones científicas de diecisiete países, en el gráfico tres se muestra la producción en N&N de los países competitivos en el cual destaca por la cantidad de documentos publicados China, la cual aporta 51%, Corea aporta el 14% y Brasil está en el quinto lugar con una aportación del 5%, en tanto que México ocupa el último lugar aportando tan solo el 3% del total.

El artículo más antiguo relacionado con la N&N a nivel internacional se publicó en *Scientometrics* en el año 1998 por los autores Meyers and Pearson (1998), artículo en el cual se prevé que la N&N producirá la revolución tecnológica del siglo XXI en el campo de la medicina y de los materiales en general, además de que en este artículo se comprueba el crecimiento exponencial de publicaciones periódicas sobre esta área del conocimiento a partir de la década de los 90s. En la figura uno, en la matriz de país / coautor, establece que México publicó artículos en

coautoría con otros tres países como Francia (uno), España (cuatro), Inglaterra (cuatro) y EUA con (nueve).

En el contexto regional se han publicado dos artículos enfocados en América Latina, el más reciente por Kay y Shapira (2009) en este artículo se aborda el estudio de la N&N con particular atención a los países sudamericanos Argentina, Brasil, Chile, Uruguay; tomando como base del estudio los artículos publicados y las patentes; en la tabla dos destacan los países Brasil, México y Argentina con una aportación del 85% de la producción sobre N&N, según esta tabla México aporta 2,487 artículos sobre esta temática, lo que representa el 22.84% de la producción total regional.

Finalmente en Vargas Cantin et al. (2006) en su estudio analizan la producción científica en revistas del área de la N&N, y en el gráfico uno de dicha investigación se ubica a México con una producción de 1, 268 artículos.

Como podemos ver existen varios estudios enfocados al estudio de la N&N, pero ningún estudio tiene como foco de investigación a México, por lo que el presente artículo pretende responder la pregunta ¿Cuál es el comportamiento de la producción científica de México sobre nanociencia y nanotecnología?, y los resultados obtenidos se pueden utilizar en materia de política científica, como una herramienta la cual se puede utilizar en dos vertientes, para saber cuáles son las revistas de *corriente principal* en la cual los investigadores mexicanos pueden publicar, o como herramienta de selección de los recursos biblio hemerográficos adecuadas para cada centro de investigación dedicado al estudio de las N&N.

2. Metodología

2.1. Enfoque del estudio y fuente de información

El estudio se desarrolló bajo una metodología bibliométrica con el que se examinó el comportamiento de la producción científica de los investigadores mexicanos sobre N&N. La búsqueda y recuperación de la información fue obtenida de las bases de datos multidisciplinarias de la WoS: *Science Citation Index Expanded (SCI-E)*, *Conference Proceedings Citation Index - Science (CPCI-S)*, *Emerging Sources Citation Index -science (ESCI-S)*.

Para el análisis bibliométrico este estudio utilizó "*Biblioshiny*", la interfaz web de R-package (Bibliometrix 4.1.2), los campos objeto de exploración fueron: autor, título del artículo, revista, filiación, año de publicación, palabras clave y el resumen. Se usó la hoja de cálculo de Microsoft Excel para la generación de tablas y gráficos.

La búsqueda se realizó en el mes de mayo del 2022; el periodo de tiempo para que recupera los registros en la base de datos de la WoS fue ("1900/01/01-2021/12/31"); además de no limitar ni en idioma; ni en tipo de documento la recuperación de la información.

La ecuación de búsqueda para la recuperación de la información, se basará en el trabajo desarrollado por (Mogoutov & Kahane, 2007), la cual tiene el objetivo de aplicar a la nanociencia y la nanotecnología una estrategia de búsqueda exhaustiva;

la cual parte de un núcleo similar de palabras clave, que en el ámbito concreto de la N&N es una cadena nano que excluye a los términos no relevantes como (NaNO₂, nanosegundo, etc.); esta cadena puede ser aplicada a los títulos y/o resúmenes.

Para la búsqueda se utilizó la ecuación avanzada TS=((nano* or a*nano* or b*nano* or c*nano* or d*nano* or e*nano* or f*nano or g*nano* or h*nano* or i*nano* or j*nano* or k*nano* or l*nano* or m*nano* or n*nano* or o*nano* or p*nano* or q*nano* or r*nano* or s*nano* or t*nano* or u*nano* or v*nano* or w*nano* or x*nano* or y*nano or z*nano*)) NOT (nano02 or nano03 or nanoO4 or nanoO5 or nanosecond* or nanoliter*) AND CU=mexico. CU es el código de campo para obtener solo publicaciones con al menos una institución mexicana.

2.2. Criterios de inclusión y exclusión de los artículos

Recuperamos de la WoS 16,071 artículos relacionados con la N&N (ver figura 1), en un análisis preliminar en la misma fuente se localizó once registros correspondientes al año 2022 los cuales se eliminaron. Al procesar los registros en Bibliometrix localizamos 184 registros correspondientes al año 2022, los cuales también fueron eliminados, por lo que nuestro universo a analizar fue de 15,876 artículos científicos publicados por investigadores mexicanos.

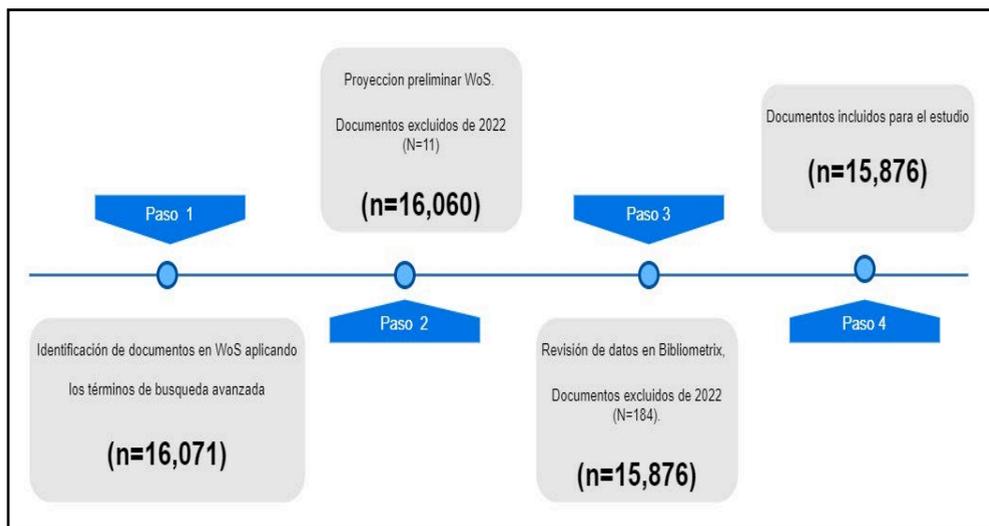


Figura 1. Determinación de muestra a analizar.

3. Resultados

Como se comentó en el párrafo anterior nuestro universo a analizar fue de 15,876 artículos científicos publicados por investigadores mexicanos, los cuales recibieron 279,576 citas, con un promedio general de 17.61 citas por artículo; de los 46 años que abarcó el estudio (1975-2021) recibieron en promedio 6,077 citas anuales. Esta

producción se encuentra publicada en 2,567 revistas científicas editadas en países ubicados en diferentes partes mundo. La mayoría de los trabajos 12,600 (79.36%) se encuentran clasificados como artículos originales de investigación y 1,101 (6.93%) restante como notas de revisiones o estados del arte y comunicación científica en conferencias y congresos. El 98.8% de los trabajos están escritos en idioma inglés (15,685), el 1.19% en español (190), el 0.05% portugués (8) y el 0.018% en francés con tres artículos.

3.1. Actividad científica

El indicador más adecuado para medir la actividad científica y su evolución a través de un periodo de tiempo es la cantidad de artículos publicados por año en las revistas de corriente principal, las cuales suelen estar indexadas en bases de datos especializadas como *WoS*, *Scopus*, *Dimensions* entre otras.

3.1.1. Artículos

La producción científica de México sobre nanociencia y nanotecnología, durante el periodo comprendido entre 1975-2021 y según lo mostrado en el Gráfico uno, Artículos sobre N&N publicado en México, se observa que entre 1975-1986 fue un periodo con muy poca actividad pues en 12 años solo se publicaron 4 artículos, es notable la baja que ocurre entre los años 1987-1989, donde la actividad queda en cero. Como podemos observar, la etapa que marca realmente el inicio de la investigación en N&N en México ocurre a partir de 1990; es en esta década en la que existe un aumento exponencial cada dos años, alcanzando un valor máximo en el año 2000 con 95 artículos publicados. En el primer lustro de este siglo el crecimiento de la N&N en cuanto a publicaciones es de casi un 200% con respecto al año 2000; sin embargo en 2006 la producción tiene un descenso; en los siguientes diez años el crecimiento en cuanto la literatura sobre N&N sigue aumentando año con año, para posteriormente alcanzar el punto más álgido en cuanto a la publicación de artículos sobre N&N en el año 2020 con un total de 1,694 documentos publicados y finalmente para el año 2021 existe un descenso de la producción científica de 8.61% con relación al año anterior; finalmente es importante resaltar que el promedio anual de crecimiento fue de un 17.31%.

El volumen de la producción científica en este periodo fue de 15,876 artículos en diversas revistas de corriente principal, si se considera que este número total de artículos fueron publicados por 34,276 autores, en promedio obtenemos que cada autor publicó menos de medio artículo (0.46).

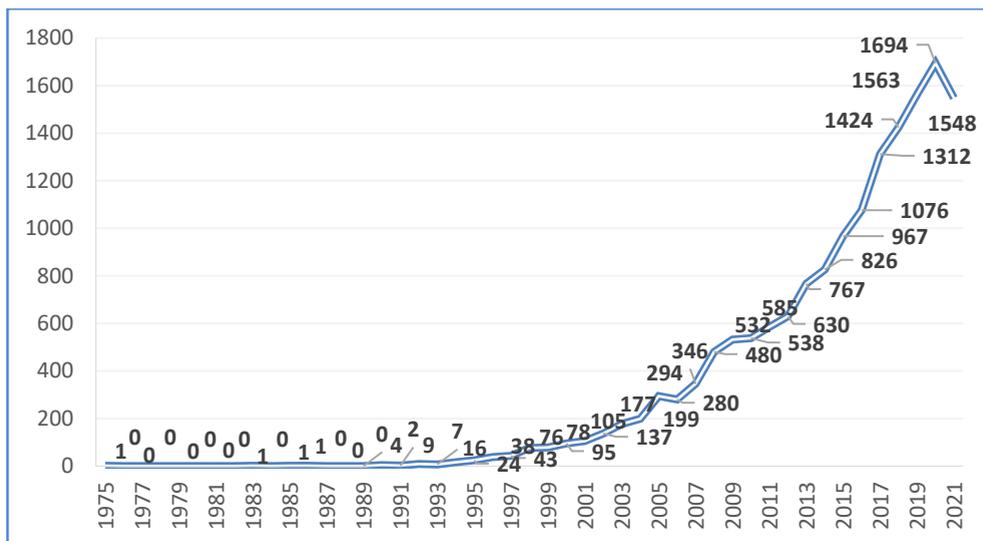


Gráfico 1. Artículos sobre N&N publicado en México

3.1.2. Países

La tabla 1 colaboración mexicana por país, muestra los indicadores bibliométricos básicos por país, referentes a la producción de citas recibidas y citadas, factor de citación y citas promedio recibidas anualmente. En la segunda columna aparecen los países que son el resultado de la elaboración de la matriz que se generó a partir del listado obtenido de la base de datos.

De lo anterior se generó un listado con 72 países de los cuales se seleccionaron los 15 más representativos y se ordenaron de mayor a menor registrándose las colaboraciones de los investigadores mexicanos que se encontraban en este rango. En primer lugar, en cuanto a colaboraciones se encuentra Estados Unidos con 2012 documentos; los investigadores de los países de la Comunidad Económica Europea conformados por España, Francia Alemania, Italia e Inglaterra³ colaboran con los autores mexicanos en conjunto con 3,133 artículos.

En relación con las citas recibidas según el país de procedencia, destaca EUA con 80,777 citas; con un factor de citación de 36.52 por artículo además de contar con el índice h más alto con 124. Los países de la Comunidad Económica Europea (mencionados en el párrafo anterior) recibieron 95,784 con un factor de citación de 30.5 citas por documento y un índice h de 59.

Es relevante resaltar que la colaboración de los autores mexicanos con los de los países europeos como Inglaterra en el lugar seis con 345 trabajos, recibió 17,086 referencias con un promedio de más de 60 citas recibidas por artículo; en tanto que España que se ubica en el segundo lugar con 1,365 documentos recibieron 31,975 citas, con un promedio de 74 citas por artículo.

³ El estudio abarca, cuando Inglaterra era parte de la Comunidad Económica Europea.

Tabla 1. Colaboración mexicana por país

País	No. Pub.	Índice h	% Citas por documento	Citada	Sin auto citas	Citante	Sin auto citas
USA	2012	124	36.52	80,777	78,920	69,418	68,529
España	1365	74	23.42	31,975	31,039	28,941	28,430
Francia	645	59	32.11	20,713	20,314	19,295	19,074
Alemania	425	61	39.61	16,836	16,598	14,329	14,198
India	371	41	21.19	7,860	7,685	7,249	7,135
China	369	56	32.25	11,902	11,553	10,610	10,742
Italia	353	41	27.52	9,714	9,525	9,098	8,990
Inglaterra	345	60	49.52	17,086	16,792	14,288	14,172
Brasil	324	37	24.35	7,891	7,765	7,406	7,323
Japón	307	54	35.45	10,884	10,648	9,631	9,515
Canadá	270	42	35.21	9,507	9,413	8,902	8,834
Colombia	253	28	11.98	3,030	2,954	2,806	2,760
Rusia	243	33	19.84	4,820	4,360	4,132	4,023
Chile	239	32	15.95	3,812	3,685	3,546	3,456
Cuba	201	18	8.09	1,627	1,533	1,539	1,476

3.2 Producción científica en el campo de las N& N en México

En este apartado se hace un análisis de las cifras de la producción científica de los investigadores mexicanos sobre N&N; enfocándonos en los rubros que son: autoría, autores más productivos e instituciones.

3.2.1. Autoría

La tabla 2 índice de coautoría, representa los indicadores de coautoría o tasa de trabajos coautorados por los investigadores mexicanos en el área de N&N, el 1.65% de los trabajos se realizaron en la modalidad de autoría individual; y en un poco más de dos terceras partes, el 67.62% de la producción está escrita en colaboraciones de entre dos a seis autores.

El segundo grupo más relevante en cuanto coautoría se ubica en el rubro de siete a once autores; pues representa el 28.09%; en tanto que la multiautoría formada por el grupo de 12 a 16 y de 17 a 21 autores produjeron el 2.11% y 0.34% respectivamente; finalmente en el grupo seis, el cual incluye el rango de 22 a 140 autores por documento, escribieron 33 artículos, lo cual representa el 0.20% del total. La elite de autores más productivos se encuentra en el grupo dos, los cuales produjeron 2 de cada 3 artículos publicados sobre este tema; finalmente podemos

ver que la mayoría de los artículos publicados por los investigadores mexicanos sobre N&N fueron escritos en colaboración de entre 2 y 11 investigadores; pues estos representan el 95.71% de la producción total. Finalmente, en promedio existen 5.66 autores por documento y en cuanto la colaboración internacional está fue de un 43.64%.

Tabla 2. Índices de coautoría de la N&N en México 1975-2021

Grupo	No. de autores	No. de artículos	%	Promedio de citas recibidas por artículo.	Promedio de citas recibidas por año.
1	1	262	1.65%	17.34	6,036
2	2-6	10,736	67.62 %		
3	7-11	4,459	28.09%		
4	12-16	333	2.10%		
5	17-21	54	0.34%		
6	22-140	32	0.20%		

3.2.2. Autores más productivos

El gráfico 2 ilustra la cronología de publicación de los veinte autores principales, el tamaño del círculo es proporcional al número de publicaciones en cada año, y la oscuridad del círculo es proporcional al total de citas recibidas por año; (Shi et al., 2020) además de marcar en que año empezó la producción de cada investigador sobre N&N, en este contexto podemos observar que Mauricio Terrones fue el autor más productivo pues hasta el 2021 había producido 284 artículos, es digno de resaltar que en los años 2008 y 2009 produjo 32 y 28 artículos, y recibió 137.4 y 170.21 citas en esos años.

En segundo lugar se ubica Umapada Pal con 180 artículos, siendo su año más productivo 2010 en la que elaboro 16 artículos y recibió 37.57 citas ese año; en cuarto lugar se ubica José Yacaman con 143 artículos, el cual en 2010 produjo 12 documentos y los cuales recibieron 18.23 citas, en quinto lugar aparece Hafiz M. N. Iqbal el cual en los últimos siete años ha producido 1, 9, 11, 24, 31, 37, y 5 artículos respectivamente, destacando el año 2019 que a pesar de no ser el año en que más artículos elaboro, si fue el año en que más citas recibió pues es ese año con 24 artículos recibió 264.75 citas, lo que equivale a 11 citas por documento. Finalmente, Luis Armando Diaz-Torres publicó su primer artículo en 2002, y hasta el 2022 había producido 85 artículos, lo que equivale a 4.4 artículos por año, lo que destaca de este autor es que en el año 2018 publico 5 documentos, y recibió 290.4 citas ese año, siendo este el autor que más citas recibió aun sin ser el más productivo.

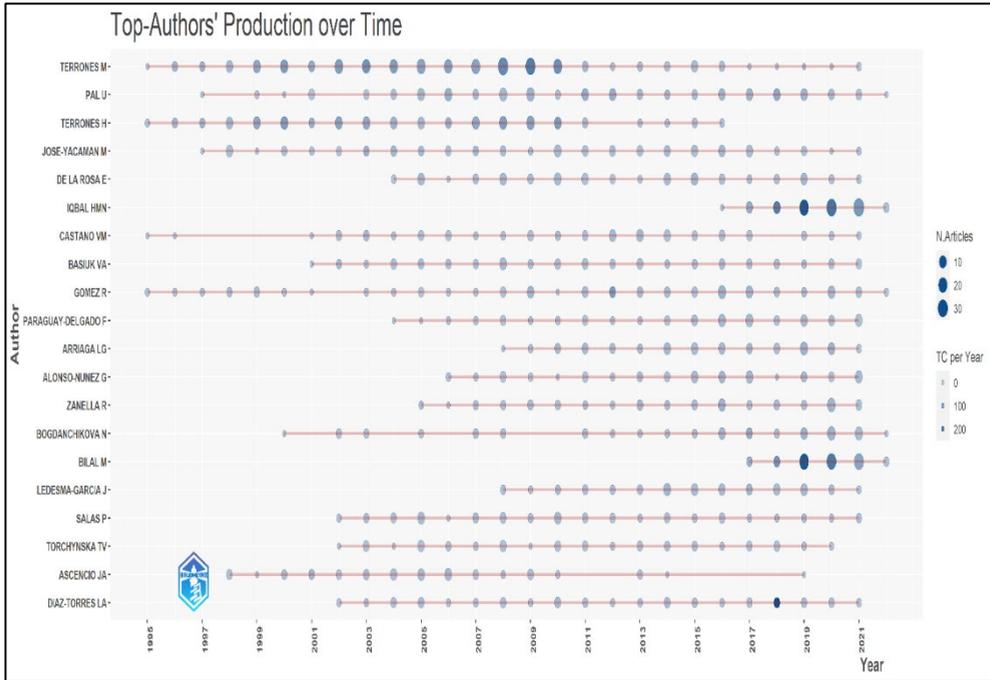


Gráfico 2. Mapa de autores más productivos

Utilizando la información de autor contenida en los datos recopilados en *Bibliometrix*, se pueden identificar y revelar los principales autores en el dominio de las N&N relacionado con el índice h, el total de citas, el número de artículos y el año de la primera publicación en el campo de las N&N; en la Tabla 3 se presentan a los 20 autores más influyentes sobre las publicaciones de las N&N en México; El índice h es un indicador ampliamente aceptado para medir el impacto de académicos de las revistas, organizaciones, países, etc., con la ventaja de ser objetivo, (Hirsch, 2005) como podemos ver en esta tabla 3 los autores más productivos también suelen ser los más influyentes, pues de estos, 10 están dentro de la tabla de los autores más productivos, destacando el caso es Mauricio Terrones el cual ha recibido 24,143 citas y tener el índice h más alto con 85, en orden descendente le sigue Humberto Terrones con 169 artículos y una tasa de citación de 16,685 y un índice h de 71, en tanto que Umapada Pal ocupa el tercer lugar con 173 artículos, 5,576 citas y un índice h de 41.

Tabla 3. Autores más productivos de la N&N en México 1975-2021

Autor	índice h	Total de citas	No. de artículos	1ª publicación
Terrones Mauricio	85	24,143	271	1995
Terrones Humberto	71	16,685	169	1995
Pal U	41	5,576	173	1997
Grobert N	40	7,530	55	1997
Endo M	33	4,434	69	2001
Iqbal HMN	33	3,063	116	2016
Gómez R	32	3,895	104	1995
Jose-yacaman M	32	4,671	133	1998
Hayashi T	31	4,046	55	2001
Hsu Wk	31	4,313	35	1995
Kim Ya	31	4,163	56	2001
Kroto HW	31	4,576	36	1996
Bilal M	30	2,588	91	2017
Walton DRM	30	4,386	35	1996
Aviles F	28	2,402	72	2008
Dresselhaus MS	28	3,929	52	2001
Zanella R	28	2,324	90	2005
Arriaga LG	27	2,025	96	2008
Ascencio JA	26	2,496	78	1998
de la Rosa E.	26	2,422	107	2004

3.2.3. Instituciones

Se identificaron 5,778 instituciones con participación relevante en la investigación de la N&N de diferentes partes del mundo; con una importante diversidad de nombres de instituciones y sectores de pertenencia. En el sector académico encontramos universidades, escuelas, facultades, centros, colegios e institutos de investigación; del sector gubernamental encontramos laboratorios e institutos nacionales, en el sector de instituciones no gubernamentales, encontramos sociedades y asociaciones científicas. De las 24 dependencias presentadas en el gráfico tres, instituciones más productivas, 13 pertenecen al sector académico nacional, siete pertenecen al sector gubernamental (institutos y centros nacionales de investigación), cuatro pertenecen a instituciones extranjeras.

Un elemento que es importante de describir es la estandarización de los nombres de las organizaciones, casos como el del Instituto Politécnico Nacional (IPN) el cual

está registrado con 99 nombres diferentes, tales como Inst. Politec Nacl, IPN, CICATA IPN, ESQUIE IPN, por mencionar algunos.

La Universidad Nacional Autónoma de México, aporta el 31.84% de la producción total sobre N&N publicada (5,097 artículos), en tanto que el Instituto Politécnico Nacional (IPN)* y el Centro de Investigación de Estudios Avanzados** (CINVESTAV) los fusionamos ya que ambos pertenecen a la misma institución educativa que es la Secretaria de Educación Pública; y por lo tanto es la segunda institución más productora con el 29.01%, con 4,650 documentos; en tanto que si estuvieran como instituciones independientes se ubicarían en el lugar dos el IPN* con una aportación de 18.06%; y el CINVESTAV en el lugar 3 con una aportación del 11.11%.

En el presente estudio destaca que el 80.78% de la producción total (12,825 documentos), la aportan investigadores que laboran en cinco de universidades públicas del país, como son la UNAM, el IPN / CINVESTAV, la Universidad Autónoma de Nuevo León, Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

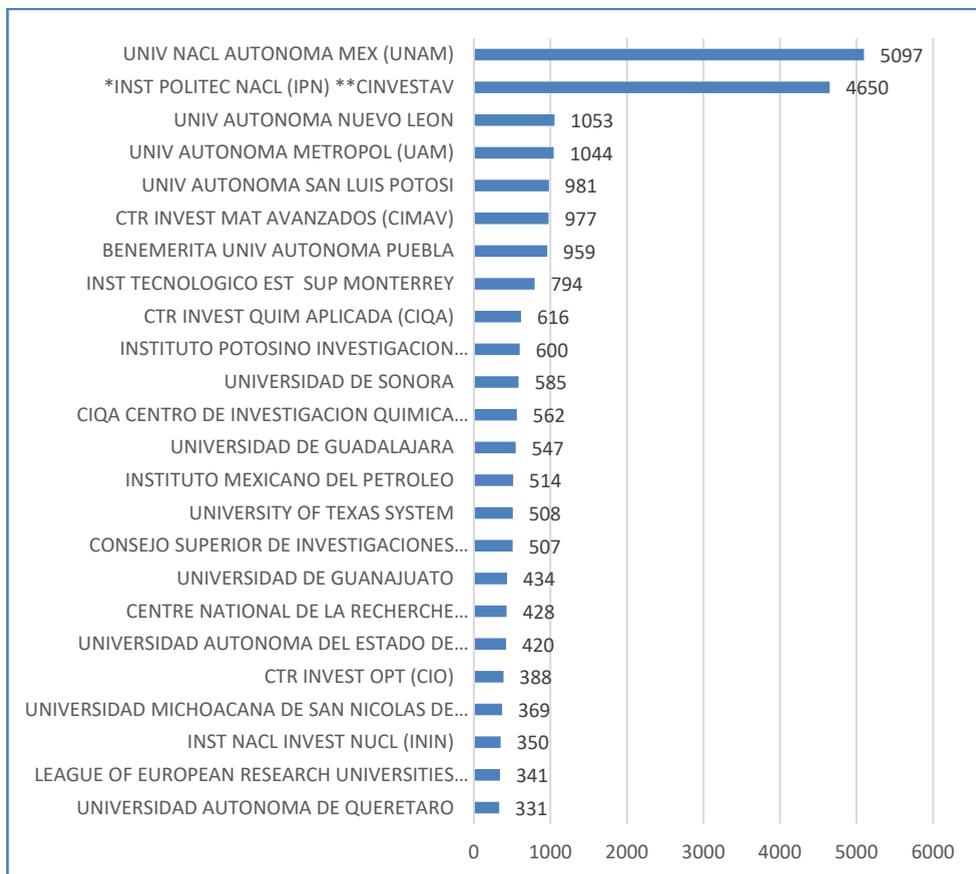


Gráfico 3. Instituciones más productivas

3.3. Fuentes de publicación en N&N

Las revistas científicas son un instrumento determinante para el desarrollo de la sociedad, son la medida por excelencia de la comunicación científica. Es por lo anterior que los investigadores buscan publicar en revistas que les proporcionen visibilidad e impacto a sus resultados, es decir reconocimiento a su aporte al desarrollo de la ciencia, lo cual es traducido en que sus trabajos sean publicados en las mejores revistas y que sus trabajos obtengan citas en esas revistas (Rios Gomez C. & Herrero Solana).

Bajo este orden de ideas, la producción científica de N&N de los investigadores mexicanos se encuentra publicada en 2,567 títulos de revista científicas editadas en países ubicados en diferentes partes mundo, de este universo 1,694 revistas (65.99%) han publicado entre 1-3 artículos, 450 revistas (17.53%) han publicado entre 4-9 artículos y 423 revistas (16.47%) han publicado entre 10 - 191 artículos.

En relación al índice de impacto (ver tabla 4) sobresalen las tres revistas especializadas en N&N, *Journal of Nanomaterials*, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* y la revista *Journal of Nanoparticulate research* en los lugares 2, 6 y 15. Las revistas *Journal of physical chemistry C*, *Applied Surface science*, *International journal of Hydrogen energy*, *Journal of alloys and compounds* y *RSC advances*, en los lugares 1, 4, 5, 3 y 7 respectivamente, estas son las revistas que tienen el índice h más alto pues tiene 40, 31, 29, 28 y 27, además de ser las revistas más citadas; dentro de este grupo destaca *Royal society chemistry advances* que a pesar de estar en el séptimo lugar en cuanto a la producción de artículos es la segunda revista con más citas recibidas, pues con 167 artículos recibió en promedio un poco más de 20 citas por documento; otra revista que es digno de resaltar es la Revista mexicana de física en el lugar 8 con 150 artículos y en promedio recibe 3.46 citas por artículo.

Tabla 4. Revistas donde publican los autores sobre N&N en México 1975-2021

Título de fuente	No. Pub.	índice h	% Citas por elemento	Citado	Sin auto citas	Citante	Sin auto citas
Journal of physical chemistry C	198	40	34.49	6,912	6,830	6,446	6,392
Journal of nanomaterials	192	23	12.06	2,316	2,270	2,211	2,177
Journal of alloys and compounds	184	28	15.56	2,864	2,821	2,712	2,682
International journal of hydrogen energy	171	29	17.01	2,909	2,769	2,555	2,486
Applied surface Science	170	31	19.38	3,296	3,256	3,123	3,100

Journal of nanoscience and nanotechnology	169	21	9.08	1,535	1,465	1,407	1,366
Royal society of chemistry advances	168	27	20.24	3,401	3,380	3,329	3,308
Revista mexicana de fisica	150	10	3.45	518	506	494	488
Journal of materials science-materials in electronics	148	19	8.35	1,237	1,193	1,074	1,049
Materials letters	148	22	15.53	2,299	2,287	2,275	2,363
Journal of applied physics	135	25	17.23	2,327	2,311	2,281	2,266
Abstracts of papers of the american chemical society	134	1	0.01	1	1	1	1
Ceramics international	133	23	12.48	1,660	1,640	1,592	1,575
Materials chemistry and physics	128	19	10.53	1,349	1,346	1,338	1,335
Journal of nanoparticle research	122	20.40	20.24	2,490	2,472	2,394	2,378

3.4. Áreas o disciplinas de investigación

Las categorías SCI seleccionadas para delimitar las áreas de las N&N se muestran en la tabla 5 áreas / disciplinas de investigación; para cada área del conocimiento se incluye el número de artículos, el porcentaje en relación con el total de artículos, el número de citas recibidas, y el factor de impacto. Con frecuencia los mejores trabajos de una disciplina se publican en revistas multidisciplinares de elevada visibilidad, como las revistas Nature, Science o PNAS. Dado que las revistas multidisciplinares tienen un alto factor de impacto, su inclusión produce un incremento del factor de impacto medio de las disciplinas, es decir, de su visibilidad. (Fernandez et al., 2002).

Es importante resaltar que los artículos generalmente están descritos en más de un área o disciplina del conocimiento por cuestiones normales de descripción de estos; destacando el área multidisciplinaria de ciencias de los materiales, pues en ella se han publicado 5,416 de los artículos. En segundo lugar, aparece la física aplicada con 3,046 y en tercer lugar la química – física con 2921, las cuales recibieron 95,048, 54,404 y 79,036 citas respectivamente.

Los lugares 4 al 6 son ocupados por la nanociencia y nanotecnología, la física de la materia condensada y la química multidisciplinaria con 53,548 citas, 33,514

citas, y 38,587 citas; además de tener un factor de citación de 27.72, 23.59 y 17.71 citas por documento.

Las disciplinas relacionadas con las ciencias físicas y química recibieron un alto promedio de citación destacando fisico-aplicada, física-química y física de la materia condensada con 18.52, 27.72 y 17.71 citas recibidas por documento; de igual manera las primeras cuatro disciplinas son las que tiene el índice h más alto, destacando el área multidisciplinaria de ciencia de los materiales con 113.

Tabla 5. Áreas / disciplinas de investigación

Área de Investigación	No. Pub	Indie h	Citas por elemento %	Citado	Sin auto citas	Citante	Sin auto citas
Materials science multidisciplinary	5416	113	18.41	100	95,048	84,235	81,837
Physics applied	3046	89	18.52	56,423	54,404	49,277	48,143
Chemistry physics	2921	112	27.72	80968	79,036	68,021	66,681
Nanoscience and nanotechnology	2335	92	23.59	55,094	53,548	49,060	47,204
Physics condensed matter	1962	76	17.71	34,739	33,514	20,458	29,777
Chemistry multidisciplinary	1794	86	22	39,465	38,587	34,881	34,374
Polymer science	915	48	14.62	13,376	12,744	11,978	11,611
Engineering chemical	867	55	19.64	17,027	16,592	15,489	15,212
Engineering electrical electronic	853	31	7.25	6,185	5,947	5,726	5,563
Optics	810	39	9.92	8,034	7,602	7,206	6,947
Electrochemistry	799	49	16.8	13,421	12,449	11,270	10,889
Energy fuels	566	48	20.58	11,644	11,233	10,284	10,092
Metallurgy metallurgical engineering	561	37	13.57	7,613	7,459	7,159	7,048
Materials science coating films	533	42	15.46	8,242	8,093	7,777	7,682
Chemistry applied	520	48	19.98	10,391	10,142	9,544	9,380
Physics atomic molecular chemical	502	50	22.79	11,442	11,241	10,178	10,039
Environmental science	466	52	25.76	12,004	11,781	11,015	10,892
Biochemistry molecular biology	430	44	18.68	8,031	7,882	7,357	7,252
Physics multidisciplinary	414	37	16.01	6,629	6,555	6,214	6,166
Chemistry analytical	393	39	17.67	6,945	6,788	6,479	6,379

3.5. Estructura Conceptual de la literatura

El análisis de la estructura conceptual es relevante ya que en él se descubren patrones ocultos y dinámicos en un campo de estudio o investigación y con el cual se podrán identificar las tendencias y los temas principales en un corpus determinado. Por otra parte, esto ayuda a comprender la conexión entre varios conceptos en la literatura existente que puede conducir a identificar la investigación futura; por lo que analizamos la estructura conceptual de la investigación en N&N en dos vertientes; en primer lugar, el análisis de palabras clave, y en segundo lugar los temas principales mediante el análisis de co-palabras.

3.5.1. Análisis de palabras de autor y palabras clave plus

El análisis estadístico de las palabras clave del autor, las palabras clave adicionales y las palabras del título, o las del artículo en general, se pueden utilizar para identificar direcciones en la investigación, lo que puede ser una forma útil de explorar el desarrollo de resultados científicos. Según Zhang (et al. 2016) Las palabras clave de autor son aquellas proporcionadas por estos, y las palabras clave plus son las palabras o frases que aparecen con frecuencia en los títulos de referencia de un artículo y son extraídas por Thomson Reuters a través de un algoritmo informático automatizado.

En el gráfico cuatro se muestra las quince palabras clave de los autores, así como de las palabras clave plus, estas son presentadas un diagrama de árbol de palabras clave plus (a) y de las palabras clave del autor (b). En ambos paneles la palabra clave utilizada con más frecuencia fue 'nanopartículas'; 'crecimiento' fue la segunda palabra clave más utilizada según el criterio de palabra clave plus; en comparación, los autores han utilizado 'nanotubos de carbón' y 'nanopartículas de plata', como las palabras para describir su investigación, lo que indica que una cantidad sustancial de investigación se ha concentrado en los temas relacionados con estos cuatro términos. Por otra parte, una cantidad significativa de investigación se centró en los aspectos de películas, propiedades ópticas, rendimiento, y en fotocatalisis, nanoestructuras, nanocristales, superficies, propiedades mecánicas entre otras; es digno de destacar que las cinco palabras plus y las cinco palabras de los autores más utilizadas, describen el 47% y el 52% de los artículos publicados sobre N&N por esta comunidad.

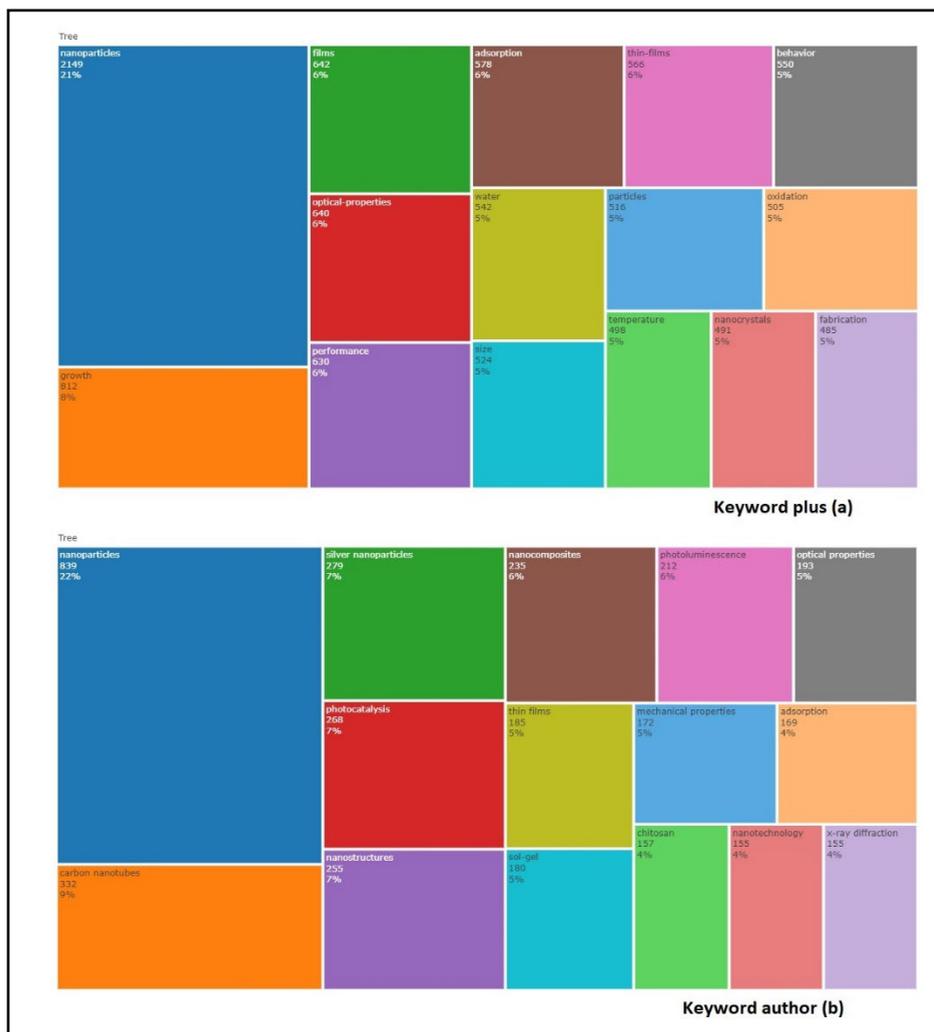


Gráfico 4. Gráfico de árbol de palabras clave plus (a) y palabras clave del autor (b)

3.5.2. Análisis de co-palabras

El análisis de palabras clave es un tipo de análisis que utiliza la descripción cuantitativa para analizar el contenido de artículos científicos en alguna disciplina como las ciencias sociales (Tripathi et al., 2018) o área de investigación como el coronavirus (Pourhatami et al., 2021) o para hacer estudios comparativos entre las palabras clave de los autores y las palabras claves plus (Zhang et al., 2016); estos estudios muestran que en el análisis de co-palabras se identifican las palabras usadas con más frecuencia, este tipo de análisis miden el nivel de relación entre palabras y revela patrones y tendencias en un campo de investigación en particular. El análisis de co-palabras encuentra conexiones entre conceptos (palabras o temas)

Por último, el gráfico seis es un gráfico de Sankey o también llamado gráfico de tres campos, en el cual encapsulamos y relacionamos el flujo de los quince temas más relevantes con los autores más productivos y con las quince fuentes o revistas en donde fueron publicados, cada nodo representa un grupo de temas que está etiquetado por la palabra clave con la frecuencia más alta; el tamaño del nodo es proporcional al número de palabras clave para el tema correspondiente. El flujo entre nodos nos muestra la dirección del autor que trabajo esos temas y en que revistas fueron publicados sus artículos.

Como podemos ver en este gráfico, existe una relación directamente proporcional entre estas tres variables, de la cual podemos deducir que las palabras claves plus más influyentes o desarrollados en los últimos años han sido redactados por los autores más productivos en el área de las N&N en México, los cuales también han sido publicados en las revistas más importantes de esta rama del conocimiento.

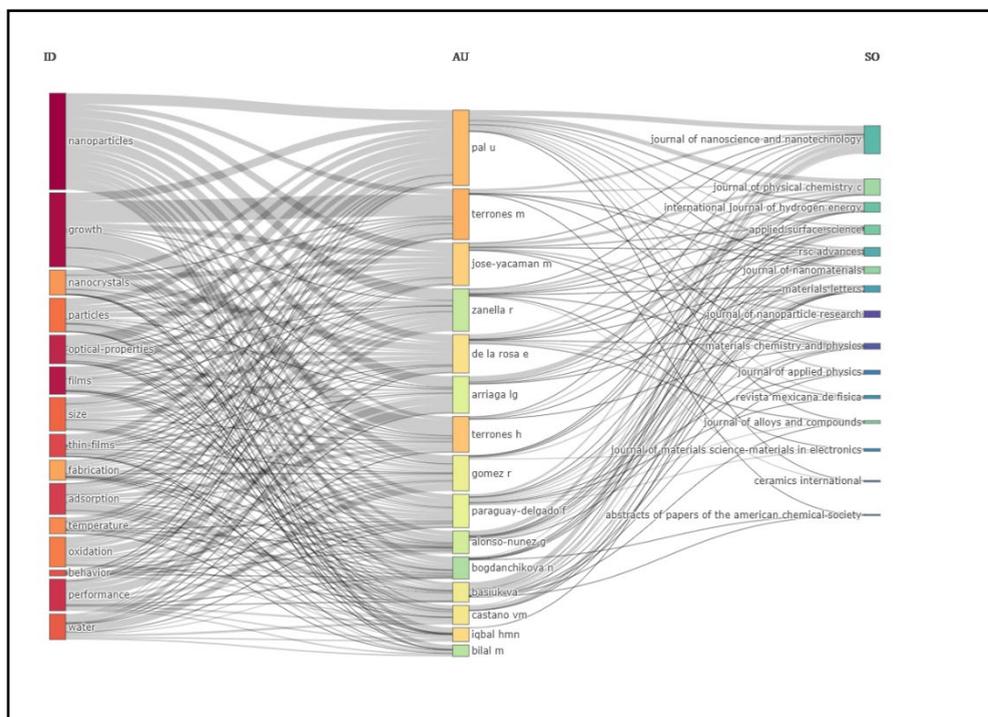


Gráfico 6. Gráfico de tres campos de Palabras claves plus / Autores / Journal

4. Conclusiones

Las crecientes exigencias académicas en las comunidades científicas y grupos de investigación, relacionadas con el impacto, la visibilidad y la inserción de sus resultados en las revistas de corriente principal, requieren un mayor conocimiento

sobre el comportamiento de las regularidades bibliométricas de la producción y comunicación científicas que éstos generan.

Ello se debe a que la información que se obtiene mediante la identificación de estas regularidades asociadas a los productos de información generados por los investigadores, así como del impacto que éstos provocan en la literatura especializada, facilitan la implementación de políticas científicas orientadas a la gestión académica, al mismo tiempo que permiten a sus investigadores conocer hacia dónde deben encaminar sus esfuerzos en la comunicación de sus resultados.

Los resultados obtenidos en esta investigación aportan información que permite identificar de forma muy general el perfil bibliométrico de la comunidad científica relacionada con la N&N en México, con el propósito de que sus miembros conozcan las relaciones no explícitas que se dan al interior del proceso de generación, difusión e impacto de la información científica que producen y con ello puedan modificar, si es necesario, sus hábitos y conductas adquiridas en la difusión del nuevo conocimiento que obtienen a través de sus actividades de investigación.

Entre los rasgos fundamentales que caracterizan el perfil bibliométrico de esta comunidad se pueden mencionar los siguientes:

- En la producción científica que esta comunidad tiene como tendencia una forma de trabajo colectivo, la cual se pone de manifiesto en el alto grado de autoría múltiple identificada en sus publicaciones, así como la diversidad de instituciones a las que pertenecen sus autores; por otra parte la productividad científica generada por ellos resulta indicativo de que existe una élite de autores altamente productivos, asociada al rasgo de liderazgo identificado en este selecto grupo de investigadores.
- Los resultados obtenidos en la medición de la concentración temática de las revistas fuente en las que publican estos investigadores indican cierto nivel de especialización de los artículos publicados en un pequeño grupo de revistas entre las que destaca el *Journal of Physical Chemistry C*, *Journal of Nanomaterials* y la *Revista Mexicana de Física* publicada por la UNAM, y la cual es la única revista latinoamericana indexada en WoS.
- El principal canal de comunicación que utiliza esta comunidad es el artículo científico, comportamiento similar es identificado en la literatura que usan, aunque utilizan también en pequeñas proporciones las monografías; además Las revistas en las que publican sus resultados son editadas en su mayoría por instituciones académicas o de investigación de corriente principal y aparecen indizadas en el Science Citation Index, lo cual demuestra un alto grado de difusión de estos resultados en el núcleo de la comunidad científica internacional.
- En el análisis de las referencias utilizadas en la producción científica generada por esta comunidad, se observa la presencia de autores provenientes en su mayoría de instituciones de los Estados Unidos y de la Comunidad Económica Europea, lo cual pudiera estar indicando relaciones de colaboración entre esta comunidad y otras pertenecientes a instituciones de estos países.

- Existe una relación directamente proporcional entre los autores más productivos y los más citados, lo cual pudiera estar reforzando el criterio sobre la presencia de una pequeña élite que lidera la producción y la comunicación científicas generadas en esta comunidad.
- Las revistas fuentes utilizadas por esta comunidad para publicar sus resultados, identificadas como las más productivas, también son las más citadas entre ellos, lo cual pudiera estar indicando los niveles de especialización de este núcleo de revista y su concordancia con el perfil temático de las investigaciones que desarrollan los miembros de esta comunidad.
- El impacto que la producción científica de esta comunidad está provocando en el ámbito internacional puede ser clasificado en ascenso, si se considera el incremento de las citas recibidas en los últimos 10 años, según el Science Citation Index.
- Mas del 80% de la investigación científica desarrollada en México sobre N&N es realizada por cinco universidades públicas del país, destacando la UNAM y el IPN- CINEVESTAV, las cuales aportan en conjunto el 60.85% de la producción científica nacional sobre la N&N.

Los rasgos hasta aquí identificados en el perfil bibliométrico de esta comunidad científica pretenden identificar de forma muy general aquellos aspectos que le permitan conocer a sus miembros las principales relaciones que se dan al interior de su estructura, con el propósito de que puedan implementar políticas necesarias en el desarrollo de su trabajo académico.

5. Obras consultadas

- Alencar, S. De, Canongia, C., Antunes, A. M. S., & Alencar, M. (2006). The trends and geography of nanotechnological research. *Fennia - International Journal of Geography*, 184(1), 37–48. <https://fennia.journal.fi/article/view/3730>
- 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>
- Bassecoulard, E., Lelu, A., & Zitt, M. (2007). Mapping nanosciences by citation flows: A preliminary analysis. *Scientometrics*, 70(3), 859–880. <https://doi.org/10.1007/S11192-007-0315-1/METRICS>
- Braun, T., Schubert, A., & Zsindely, S. (1997). Nanoscience and nanotechnology on the balance. *Scientometrics*, 38(2), 321–325. <https://doi.org/10.1007/BF02457417/METRICS>
- Chen, K., & Guan, J. (2011). A bibliometric investigation of research performance in emerging nanobiopharmaceuticals. *Journal of Informetrics*, 5(2), 233–247. <https://doi.org/10.1016/J.JOI.2010.10.007>
- Cornejo, L. (2015). *Nanociencia y nanotecnología*. <https://nuevastecnologiasymateriales.com/nanociencia-y-nanotecnologia/>
- Fernandez, M. T., Morriillo, F., Bordond, M., & Gomez, I. (2002). Estudio bibliométrico de un área científico-tecnológica del Plan Nacional de Investigación de España (2000-2003). *Revista Española de Documentación Científica*, 25(4), 372–373. <https://digital.csic.es/handle/10261/11562>

- Finardi, U., & Lamberti, C. (2021). Diversity and interdisciplinarity in nanoscience and nanotechnology: a time-related analysis of the subject category. *Journal of Nanoparticle Research*, 23(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/S11051-020-05119-8/TABLES/9>
- Foladori, G., Arteaga Figueroa, E., Záyago Lau, E., Appelbaum, R., Robles-Belmont, E., Villa, L., Parker, R., & Leos, V. (2015). Nanotechnology in Mexico: Key Findings Based on OECD Criteria. *Minerva*, 53(3), 279–301. <https://doi.org/10.1007/s11024-015-9281-6>
- Giwa, S. O., Adegoke, K. A., Sharifpur, M., & Meyer, J. P. (2022). Research trends in nanofluid and its applications: a bibliometric analysis. *Journal of Nanoparticle Research*, 24(3), 1–22. <https://doi.org/10.1007/S11051-022-05453-Z/FIGURES/3>
- Gorbea Portal, S. (2001). La representación y organización del conocimiento: metodologías, modelos y aplicaciones: *V Congreso Isko España; 2001; Alcalá de Henares*, 1–10. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=8602>
- Grauwin, S., & Jensen, P. (2011). Mapping scientific institutions. *Scientometrics*, 89(3), 943–954. <https://doi.org/10.1007/S11192-011-0482-Y/FIGURES/6>
- Guzman-Sanchez, M. V., & Trujillo Cancino, J. L. (2013). Los mapas bibliométricos o mapas de la ciencia: una herramienta útil para desarrollar estudios métricos de información. *Biblioteca Universitaria*, 16(2), 95–108. www.redalyc.org/articulo.oa?id=28529572002
- Hirsch, J. E. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(46), 16569–16572. <https://doi.org/10.1073/PNAS.0507655102/ASSET/8BAD4608-B7BF-4215-8D0A-5C29F690AE48/ASSETS/GRAPHIC/ZPQ0420598740002.JPEG>
- Huang, Z., Chen, H., Chen, Z. K., & Roco, M. C. (2004). International nanotechnology development in 2003: Country, institution, and technology field analysis based on USPTO patent database. *Journal of Nanoparticle Research*, 6(4), 325–354. <https://doi.org/10.1007/S11051-004-4117-6/METRICS>
- Huang, Z., Wu, L., Wang, W., Zhou, Y., Zhang, X., Huang, Y., Pan, X., & Wu, C. (2021). Unraveling the publication trends in inhalable nano-systems. *Journal of Nanoparticle Research*, 24(1). <https://doi.org/10.1007/S11051-021-05384-1/FULLTEXT.HTML>
- Hullmann, A. (2007). Measuring and assessing the development of nanotechnology. *Scientometrics*, 70(3), 739–758. <https://doi.org/10.1007/S11192-007-0310-6>
- Hullmann, A., & Meyer, M. (2003). Publications and patents in nanotechnology: An overview of previous studies and the state of the art. *Scientometrics*, 58(3), 507–527. <https://doi.org/10.1023/B:SCIE.0000006877.45467.A7/METRICS>
- Igami, M. (2008). Exploration of the evolution of nanotechnology via mapping of patent applications. *Scientometrics*, 77(2), 289–308. <https://doi.org/10.1007/S11192-007-1973-8>
- Kay, L., & Shapira, P. (2009). Developing nanotechnology in Latin America. *Journal of Nanoparticle Research*, 11(2), 259–278. <https://doi.org/10.1007/S11051-008-9503-Z/TABLES/7>
- Klavans, R., & Boyack, K. W. (2009). Toward a consensus map of science. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60(3), 455–476. <https://doi.org/10.1002/ASI.20991>
- Kostoff, R. N., Koytcheff, R. G., & Lau, C. G. Y. (2007). Global nanotechnology research metrics. *Scientometrics*, 70(3), 565–601. <https://doi.org/10.1007/S11192-007-0303-5>

- Kostoff, R. N., Stump, J. A., Johnson, D., Murday, J. S., Lau, C. G. Y., & Tolles, W. M. (2006). The structure and infrastructure of the global nanotechnology literature. *Journal of Nanoparticle Research*, 8(3–4), 301–321. <https://doi.org/10.1007/S11051-005-9035-8/METRICS>
- Leydesdorff, L. (2008). The delineation of nanoscience and nanotechnology in terms of journals and patents: A most recent update. *Scientometrics*, 76(1), 159–167. <https://doi.org/10.1007/S11192-007-1889-3>
- Leydesdorff, L., & Zhou, P. (2007). Nanotechnology as a field of science: Its delineation in terms of journals and patents. *Scientometrics*, 70(3), 693–713. <https://doi.org/10.1007/S11192-007-0308-0/METRICS>
- Li, X., Chen, H., Dang, Y., Lin, Y., Larson, C. A., & Roco, M. C. (2008). A longitudinal analysis of nanotechnology literature: 1976–2004. *Journal of Nanoparticle Research*, 10(SUPPL. 1), 3–22. <https://doi.org/10.1007/S11051-008-9473-1/FIGURES/11>
- Li, X., Hu, D., Dang, Y., Chen, H., Roco, M. C., Larson, C. A., & Chan, J. (2009). Nano Mapper: An Internet knowledge mapping system for nanotechnology development. *Journal of Nanoparticle Research*, 11(3), 529–552. <https://doi.org/10.1007/S11051-008-9491-Z/TABLES/21>
- Lin, M. W., & Zhang, J. (2007). Language trends in nanoscience and technology: The case of Chinese-language publications. *Scientometrics*, 70(3), 555–564. <https://doi.org/10.1007/S11192-007-0302-6/METRICS>
- Macias-Chapula, C. A. (2001). Papel de la informetría y de la cienciometría y su perspectiva nacional e internacional. *ACIMED*, 9(supl), 35–41. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352001000400006
- Maghrebi, M., Abbasi, A., Amiri, S., Monsefi, R., & Harati, A. (2011). A collective and abridged lexical query for delineation of nanotechnology publications. *Scientometrics*, 86(1), 15–25. <https://doi.org/10.1007/S11192-010-0304-7/FIGURES/2>
- México. CONACyT. (2018). *Programa Especial de Ciencia Tecnología e Innovación (PECiTI) 2014-2018* (p. 108). PECiTI.
- Meyer, M., & Persson, O. (1998). Nanotechnology - Interdisciplinarity, patterns of collaboration and differences in application. *Scientometrics*, 42(2), 195–205. <https://doi.org/10.1007/BF02458355>
- Meyer, M. S. (2001). Patent citation analysis in a novel field of technology: An exploration of nano-science and nano-technology. *Scientometrics*, 51(1), 163–183. <https://doi.org/10.1023/A:1010572914033/METRICS>
- Mogoutov, A., & Kahane, B. (2007). Data search strategy for science and technology emergence: A scalable and evolutionary query for nanotechnology tracking. *Research Policy*, 36(6), 893–903. <https://doi.org/10.1016/J.RESPOL.2007.02.005>
- National Nanotechnology Initiative. (2021). *2021 National Nanotechnology Initiative Strategic Plan | National Nanotechnology Initiative*. www.nano.gov/2021strategicplan
- National Nanotechnology Initiative. (2022). *About Nanotechnology*. <https://www.nano.gov/about-nanotechnology>
- Porter, A. L., Youtie, J., Shapira, P., & Schoeneck, D. J. (2008). Refining search terms for nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 10(5), 715–728. <https://doi.org/10.1007/S11051-007-9266-Y/FIGURES/4>

- Pourhatami, A., Kaviyani-Charati, M., Kargar, B., Baziyad, H., Kargar, M., & Olmeda-Gómez, C. (2021). Mapping the intellectual structure of the coronavirus field (2000–2020): a co-word analysis. In *Scientometrics* (Vol. 126, Issue 8). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s11192-021-04038-2>
- Rios Gomez C., & Herrero Solana, V. (2005). La producción científica latinoamericana y la ciencia mundial: una revisión bibliográfica(1989-2003). *Revista INteramericana de Bibliotecología*, 2, 43–61. www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-09762005000100003
- Schummer, J. (2004). Multidisciplinarity, interdisciplinarity, and patterns of research collaboration in nanoscience and nanotechnology. *Scientometrics*, 59(3), 425–465. <https://doi.org/10.1023/B:SCIE.0000018542.71314.38/METRICS>
- Shi, J., Duan, K., Wu, G., Zhang, R., & Feng, X. (2020). Comprehensive metrological and content analysis of the public–private partnerships (PPPs) research field: a new bibliometric journey. *Scientometrics* 2020 124:3, 124(3), 2145–2184. <https://doi.org/10.1007/S11192-020-03607-1>
- Tague Sutcliffe, J. (1994). Introducción a la informetría. *ACIMED*, 2(3), 26–35. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94351994000300005
- Tanaka, L. S. (2021). Recomendaciones de política pública de nanociencia y nanotecnología en México: privilegiar el bienestar humano y ambiental. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias y Nanotecnología*, 15(28), 1e-23e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2022.28.69655>
- Tripathi, M., Kumar, S., Sonker, S. K., & Babbar, P. (2018). Occurrence of author keywords and keywords plus in social sciences and humanities research: A preliminary study. *COLLNET Journal of Scientometrics and Information Management*, 12(2), 215–232. <https://doi.org/10.1080/09737766.2018.1436951>
- Vargas Cantin, P., Ortiz Montenegro, I., Rojas Maturana, V., Vargas, P., & Ortiz, I. (2006). Vigilancia tecnológica aplicada a nanociencia y nanotecnología en países de Latinoamérica. *Journal of Technology Management & Innovation*, 1(4), 83–94. <https://doi.org/10.1002/asi>
- Youtie, J., Ward, R., Shapira, P., Porter, A. L., & Newman, N. (2020). Corporate engagement with nanotechnology through research publications. *Journal of Nanoparticle Research*, 23(4), 1–12. <https://doi.org/10.1007/S11051-021-05195-4/TABLES/4>
- Zhang, J., Yu, Q., Zheng, F., Long, C., Lu, Z., & Duan, Z. (2016). Comparing keywords plus of WOS and author keywords: A case study of patient adherence research. In *Journal of the Association for Information Science and Technology* (Vol. 67, Issue 4, pp. 967–972). <https://doi.org/10.1002/asi.23437>
- Zitt, M., & Bassecouard, E. (2006). Delineating complex scientific fields by an hybrid lexical-citation method: An application to nanosciences. *Information Processing & Management*, 42(6), 1513–1531. <https://doi.org/10.1016/J.IPM.2006.03.016>
- Zupic, I., & Cater, T. (2015). Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>