

Evolución estadística relacionada con publicaciones en nanociencias y nanotecnología en el mundo

Statistical evolution related to publications in nanosciences and nanotechnology in the world

Luis Fernando Restrepo-Betancur¹

¹Especialista en Estadística, Universidad de Antioquia, Grupo STATISTICAL, Medellín, Colombia.

Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-8583-5028>

Autor para correspondencia: frbstatistical@yahoo.es

Cite this article as: L. F. Restrepo-Betancur "Evolución estadística relacionada con publicaciones en nanociencias y nanotecnología en el mundo", *Prospectiva*, Vol. 21 N° 2 2023.

Recibido: 28/06/2023 / Aceptado: 14/08/2023

<http://doi.org/10.15665/rp.v21i2.3293>

RESUMEN

La nanotecnología ha alcanzado suma importancia durante las últimas décadas gracias a los esfuerzos de disciplinas como: física, electrónica, bioquímica, química molecular y computacional, biología molecular, medicina, estadística, informática y matemáticas entre otras áreas del conocimiento. El objetivo del estudio consiste en describir estadísticamente la evolución en el número de publicaciones y citas en nanociencias y nanotecnología a nivel mundial en los últimos veinticinco años, con base en el portal SCImago Journal Country Rank. El estudio es de carácter descriptivo de tipo longitudinal, donde se evaluó el número de publicaciones y citas. Se utilizó la técnica multivariada de la varianza MANOVA, con contraste canónico ortogonal. China encabeza la producción científica en el área de la nanociencias y nanotecnología, seguida de Estados Unidos de Norteamérica. Se detectó diferencia estadística entre regiones del mundo al efectuar el análisis multivariado de la varianza, donde Asia posee la mayor productividad presentando divergencia respecto a las demás zonas. África y Latinoamérica son las regiones de menor productividad académica en el área objeto del presente estudio. Se concluye que existe gran brecha entre naciones desarrolladas y en vía de desarrollo en relación al tema.

Palabras clave: *Cienciometría, Mundo, Nanotecnología, Publicaciones científicas, Visualización.*

ABSTRACT

*Nanotechnology has reached a utmost importance during the last decades thanks to the efforts of disciplines such as: physics, electronics, biochemistry, molecular and computational chemistry, molecular biology, medicine, statistics, computer science and mathematics among other areas of knowledge. The objective of the study is to describe statistically the evolution in the number of publications and citations in nanosciences and nanotechnology worldwide in the last twenty-five years, based on the SCImago Journal Country Rank portal. The study is of a longitudinal descriptive nature, where the number of publications and citations was evaluated. The multivariate technique of variance **MANOVA** was used, with orthogonal canonical contrast. China leads the scientific production in the area of nanosciences and nanotechnology, followed by the United States of America. A statistical difference between world regions was detected when performing the multivariate analysis of variance, where Asia has the highest productivity, showing divergence with respect to the other regions. Africa and Latin America are the regions with the lowest academic productivity in the area under study. It is concluded that there is a large gap between developed and developing nations in relation to the subject.*

Keywords: *Scientometrics, World, Nanotechnology, Scientific publications, Visualization.*

1. INTRODUCCIÓN

La posibilidad de utilizar técnicas científicas para estudiar y trabajar con elementos cuyas medidas son extremadamente pequeñas, como los átomos de las estructuras moleculares, se conoce como “Nanotecnología” [1]. Fue K. Eric Drexler, quien en su libro “Engines of the Creation: The Coming Era of Nanotechnology” del año 1986, impulsó este concepto al proponer el autoensamblaje de partículas para hacer realidad máquinas de pocos nanómetros de ancho. Casi cincuenta años después, y con el surgimiento de la tecnología simple a nano escala, este concepto es aceptado a nivel global [2].

El hecho de que hace más de 50 años los científicos cuánticos descartaran conceptos de la física clásica para darle fuerza a la cuántica con el fin de analizar en detalle los átomos y entender el funcionamiento del núcleo de los electrones y los fotones, permitió descubrir la creación de una vida que no puede apreciarse fácilmente en términos de energía. Fue precisamente el Dr. Richard Feynman quien, en 1952, tuvo la idea de utilizar estructuras atómicas construyendo átomos sobre átomos, conceptos anticipados para su época y que hoy son de uso común en actividades nanotecnológicas. En el año 1974 cuando el profesor Norio Taniguchi de la Universidad de Ciencias de Tokio dio el nombre de nanotecnología definiéndola como el

procedimiento de separación, consolidación y deformación de materiales átomo por átomo o molécula por molécula, ciencia que desde entonces concentró los proyectos y actividades de muchos científicos [3].

Durante el Trabajo Interinstitucional del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología sobre Nanociencia, Ingeniería y Tecnología realizado en 1999 en Maryland, Estados Unidos, surgió la visión de la nanotecnología que durante la primera década del siglo logró gran impacto e influencia en la ciencia nanoescalar, y que además visualizó un panorama basado en el estudio y entendimiento de las propiedades de nanoestructuras aisladas que permitieran viabilizar su producción con precisión atómica, en volumen y a bajo costo [4].

1.1 ALGUNAS APLICACIONES DE LA NANOCIENCIAS Y NANOTECNOLOGÍA

Inicialmente se aplicaron estos avances en las tecnologías de la información y la comunicación, posteriormente se abrieron paso en las industrias automotriz y aeroespacial, así como en la producción de nuevos medicamentos de larga biodisponibilidad y otros de acción localizada, gracias a intervenciones previas de nanopartículas inmunofluorescentes. La nanotecnología ha permitido también la creación de tecnologías no invasivas para el diagnóstico de enfermedades, y se emplea además en los nanorobot que son menos agresivos que las técnicas endoscópicas, facilitando la localización anticipada de células cancerígenas o la vigilancia de la homeostasis del cuerpo humano [5].

La nanotecnología ha propiciado el surgimiento de especialidades que aportan a la salud y calidad de vida del ser humano que, hoy más que nunca, requieren de los desarrollos científicos para atender sus necesidades. En este sentido la tecnología de micropartículas, como lo es la Nanoquímica, ha facilitado grandes avances al servicio de la salud, la agricultura y, entre otros, el procesamiento de aguas [6]. Se ha observado que las características de la materia cambian a escalas extremadamente pequeñas, al punto que cuando los nanomateriales se reducen a tamaños nano de forma que contengan solamente un número reducido de átomos (menor de aproximadamente 100-500 átomos), las propiedades cambian en altos porcentajes [7].

La nanoterapia hace posible que se optimice la farmacología de los medicamentos (en especial los de acción hepática) y en general en terapias que transportan. Para ello utiliza las propiedades de los nanomateriales propiciando modificaciones en la disposición biológica como la absorción, distribución, captación celular, metabolismo y eliminación, generando por lo tanto cambios de impacto en los efectos finales. Se ha concluido que la vejez genera cambios en los procesos de absorción y efectos de los medicamentos, reduciendo su eficacia y generando mayor riesgo de toxicidad. Para contrarrestar esta situación, la nanotecnología hace posible que éstos puedan absorberse directamente. El uso futuro de las

nanoterapias dependerá en buena medida del análisis y recolección de información sobre la eliminación de los riesgos de toxicidad y el uso en el tiempo de los nanomateriales [8]. Esto ha hecho que en la última década la nanotoxicología se haya convertido en un campo fundamental del conocimiento [9].

Ha sido tal el avance de la nanotecnología que hoy se aplica en casi todas las ramas del conocimiento como la electrónica, la biomédica, desarrollo de materiales e ingeniería en la que se producen dispositivos tan pequeños que se miden a escala molecular. En estos desarrollos científicos intervienen áreas de estudio como la física, química, ingeniería, además de biólogos, tecnólogos de la información e investigadores de materiales. Los expertos que se encargan del estudio y análisis de temas que deben seguirse explorando en los próximos años para el mercado de la nanociencia y la nanotecnología, tienen la mirada puesta en campos como los nanotubos, los nanosistemas biológicos, las nanopartículas de metales y semiconductores [10].

Para el campo de los alimentos, el hecho de que la nanotecnología se enfoque en la clasificación y producción de estructuras biológicas y no biológicas más pequeñas que 100 nm, hace de esta ciencia una alternativa de gran interés por las múltiples posibilidades al momento de utilizarse en la investigación, desarrollo de productos y manejo de alimentos seguros. Este cambio tan notorio e influyente en el mundo entero deja claro que el nano brinda respuestas y soluciones a problemas de índole macro, proyectando de esta manera el desarrollo a nivel global [1].

De igual manera los sistemas para el tratamiento de aguas han encontrado en la nanotecnología una alternativa de desarrollo y de gran potencial. Pese a ello hay un tema que no puede dejarse en el olvido, como es el hecho de analizar las limitaciones y riesgos de esta tecnología pues, aunque hay avances sobre los efectos toxicológicos en el ser humano, se requieren estudios más exhaustivos [11]. El desarrollo de la nanotecnología, que puede emplearse para la previsión del agua con técnicas como la filtración con el empleo de nanopartículas, también permite potenciar técnicas convencionales usadas en el tratamiento de aguas como la adsorción, floculación y coagulación [11, 12].

Ante el acelerado crecimiento de la población mundial y los cambios ambientales, el hombre debe implementar acciones que aseguren un mayor rendimiento de los cultivos, y en este sentido la nanotecnología viene impulsando investigaciones para asegurar el rendimiento de las plantas y satisfacer las necesidades energéticas globales. Es así como la "nanociencia de las plantas", surge para asegurar este rendimiento con temas como los nanosensores, los nano fertilizantes, los nano pesticidas y la ingeniería genética de nanoplantitas; de igual forma, y como una manera de mejorar el potencial de las plantas en la recolección de energía, se utilizan los nanogeneradores. Por otro lado, se hace necesario revisar de cara a

la escasez de alimentos y las crisis energéticas en el futuro, temas como la absorción e internalización de nanomateriales en las plantas y sus efectos [13].

Otro de los usos de gran impacto de esta ciencia se ve reflejado en la Ingeniería Civil, en la que los nanoaditivos, por estar a nanoescala y con pequeñas cantidades de material, evitan inconvenientes de compatibilidad del material, mejoran las propiedades del concreto y especialmente de la matriz del hormigón. Además, muchos nanomateriales se pueden mezclar con el concreto para mejorar de alguna manera sus propiedades [14]. Por su parte, en la Ingeniería Electrónica los nanomateriales se usan en investigaciones electroanalíticas, y con base en gran variedad de estrategias se pueden utilizar en sensores electroquímicos con alta sensibilidad y selectividad. El análisis electroanalítico basado en la nanociencia se combina con la simplicidad, la velocidad, la alta selectividad y la sensibilidad de la electroquímica con propiedades únicas de los nanomateriales para convertirse en una de las áreas de investigación más emocionantes [2].

El objetivo de la presente investigación consiste en describir estadísticamente la evolución en el número de publicaciones en nanociencias y nanotecnología a nivel mundial, con base en el portal *SCImago Journal Country Rank* en los últimos veinticinco años.

2. METODOLOGÍA

El estudio es de carácter descriptivo de tipo longitudinal. La información se recopiló del portal *SCImago Journal & Country Rank* relacionada con el área de la nanociencias y la nanotecnología, las variables evaluadas fueron: el Indicador SJR el cual expresa el número medio de citas ponderadas recibidas en el año seleccionado por los documentos publicados en la revista seleccionada en los últimos tres años. El índice H, el cual cuantifica tanto la productividad científica de la revista como su impacto científico, que de igual manera es aplicable a científicos y países. Se evaluó el número total de documentos publicados al igual que los artículos citables y autocitables.

Para el análisis estadístico de la información se utilizó la técnica multivariada de la varianza **MANOVA**, efectuando contraste canónico de carácter ortogonal. Se empleó el paquete estadístico de libre acceso SAS University.

3. RESULTADOS

China encabeza la producción científica en el área de las nanociencias y la nanotecnología, seguida de Estados Unidos de Norteamérica, donde dicha nación posee el mayor número de citas al igual que el índice H que cuantifica tanto la productividad científica de las diferentes revistas como el impacto a nivel mundial. La mayor producción científica se da en naciones de Europa, Asia y Norteamérica. Existe gran heterogeneidad entre los países que se reportan en la Tabla 1 al evaluar el coeficiente de variación.

Tabla 1. Naciones con mayores publicaciones y citas en nanociencias y nanotecnología en los últimos 25 años.

Table 1. Nations with the highest publications and citations in nanosciences and nanotechnology in the last 25 years.

Puesto	País	Publicaciones	Citaciones	Autocitas	Índice H
1	China	148821	5515802	3518478	542
2	EE. UU.	115276	6619469	1995361	712
3	Corea del Sur	38161	1351802	270020	362
4	Alemania	36340	1474027	288778	371
5	Japón	33215	1176119	247874	331
6	India	25190	620163	185480	241
7	Reino Unido	23687	1072172	155567	343
8	Francia	22149	727058	131962	261
9	Italia	15111	521847	102674	234
10	Taiwán	14913	471037	69229	229
11	España	13883	509233	86641	237
12	Rusia	13046	204455	58391	150
13	Australia	12847	598316	82841	270
14	Canadá	12580	536083	69372	251
15	Singapur	11955	708200	69284	314
16	Suiza	8925	462285	48353	261
17	Países Bajos	8204	412150	44759	251
18	Irán	7966	175180	57705	134
19	Hong Kong	7192	358211	34506	234

20	Suecia	6900	282869	36173	198
CV	%	128.3	144.2	226.1	44.5

Fuente: elaboración propia con base en la información reportada por *SCImago Journal & Country Rank*.

CV: indica coeficiente de variación.

Se detectó diferencia estadística entre regiones del mundo al efectuar el análisis multivariado de la varianza, el cual tiene en cuenta de manera simultánea el número de publicaciones, citaciones y autocitaciones, donde Asia diverge respecto a las demás zonas ya que posee la mayor productividad académica en el área de las nanociencias y la nanotecnología. África y Latinoamérica tienen las estadísticas más bajas. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Productividad científica en nanociencias y la nanotecnología en los últimos 25 años.

Table 2. Scientific productivity in nanosciences and nanotechnology in the last 25 years.

Puesto	Región	Publicaciones	Citaciones	Autocitas	Letra
1	Asia	288978	10382297	4426353	a
2	Europa Occidental	160630	6436412	1010284	b
3	Norteamérica	127856	126225	2064733	b
4	Europa del Este	32126	630143	134212	c
5	Iberoamérica	28360	902122	147569	c
6	Oriente medio	26556	744557	135212	c
7	Pacífica	13799	637131	85615	d
8	Países Árabes	12220	302773	39511	d
9	Latinoamérica	11814	292923	45941	d
10	África	6134	118145	18884	e
CV	Expresado en %	131.8	169.3	176.2	Letra

Análisis multivariado de la varianza con base en todos los registros desde 1996 al 2021

Prueba	P value
Wilks' Lambda	<0,0001
Pillai's Trace	<0,0001
Hotelling-Lawley Trace	<0,0001
Roy's Greatest Root	<0,0001

Fuente: elaboración propia con base en la información reportada por *SCImago Journal & Country Rank*.

Letras diferentes indican diferencia estadística significativa ($p < 0,05$).

En la Tabla 3 se citan los autores con mayor difusión científica en nanociencias y nanotecnología, donde la mayoría proceden de países europeos y asiáticos. Se aprecia heterogeneidad en lo relacionado al número de publicaciones y citaciones como se aprecia en el coeficiente de variación.

Tabla 3. Autores con mayor productividad en nanociencias y nanotecnología.

Table 3. Authors with the highest productivity in nanosciences and nanotechnology.

Investigador	Publicaciones	Citaciones	País
Sabu Thomas	864	19358	India
Seeram Ramakrishna	571	59647	Singapur
Malik Maaza	513	16171	Sur Africa
Isabelle Sagnes	446	10611	Francia
Aristide Lemaître	407	11818	Francia
Ting-Chang Chang	354	5128	Taiwan
Gilles Patriarche	347	6918	Francia
Zhong Lin Wang	346	45395	EE. UU.
Nandakumar Kalarikkal	344	6789	India
Oliver G Schmidt	333	17033	Alemania
Chun-Ying Chen	309	25041	China
Flemming Besenbacher	257	21239	Dinamarca
Jordi Arbiol	256	8403	España
Fabio Beltram	245	9765	Italia
Vittorio Giovannetti	243	15890	Italia
Laurent Jacques Daniel Vivien	241	2689	Francia
Itamar Willner	240	19930	Israel
Herre S J Van Der Zant	240	15829	Países Bajos
Kostya Ken Ostrikov	238	10402	Australia
Shantikumar Vasudevan Nair	232	19222	India
CV	44.1	78.3	CV

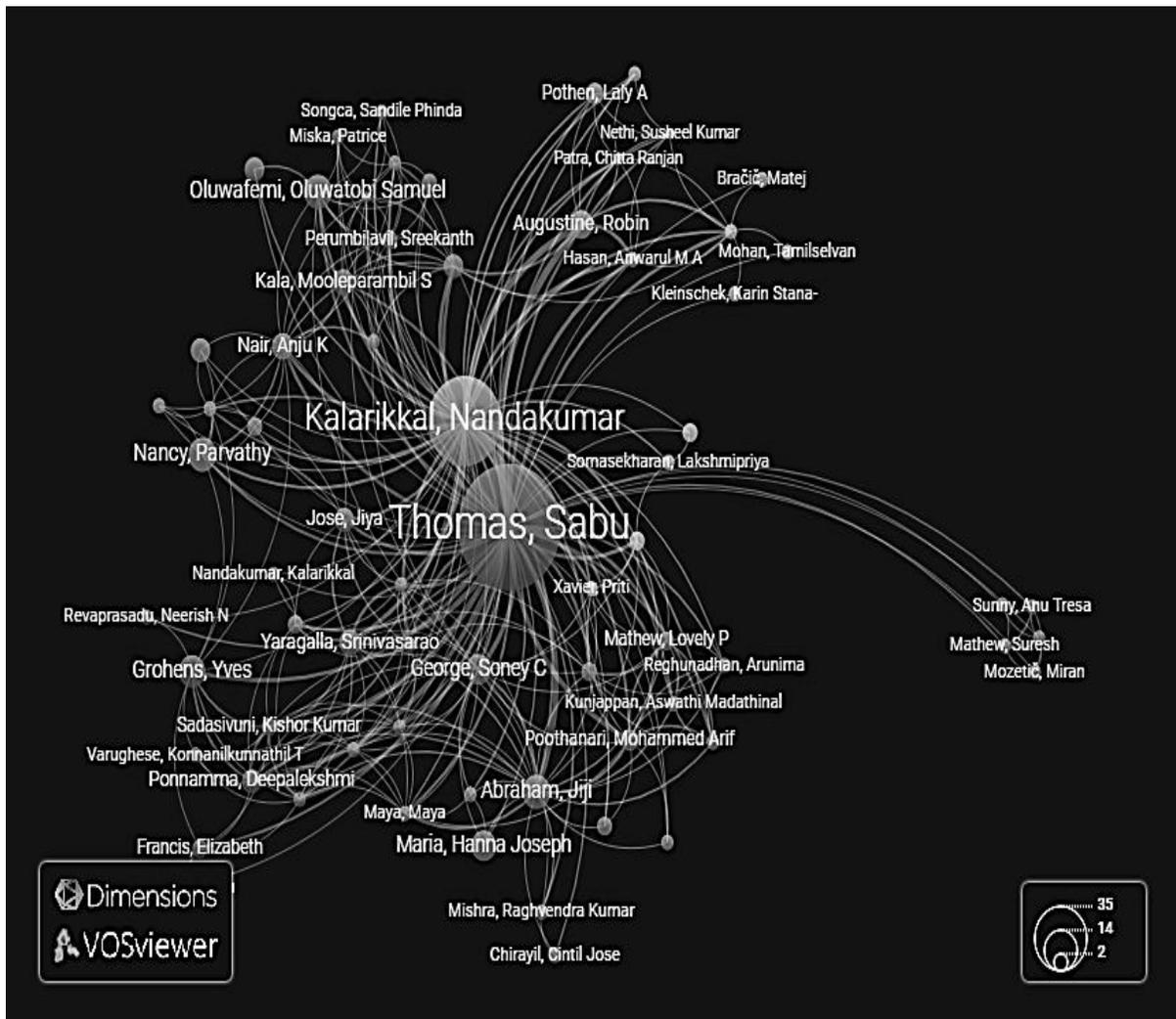
Fuente: elaboración propia con base en la información reportada por *SCImago Journal & Country Rank*.

Al efectuar el análisis Network relacionado con el Doctor Sabu Thomas el cual posee la mayor productividad académica en el área objeto del presente estudio (Figura 1), se encontró interacción marcada con los Doctores Seeram Ramakrishna y Nandakumar Kalarikkalque, la gráfica presenta pigmentado en

diferente tonalidad cada uno de los clúster, los cuales se pueden apreciar de manera clara y diferenciable, anotando que al interior de cada grupo se establece mayor interacción entre los investigadores.

Figura 1. Network asociado al autor con mayor impacto en nanociencias y nanotecnología.

Figure 1. Network associated with the author with the greatest impact in nanosciences and nanotechnology.



Las revistas con mayor impacto en nanociencias y nanotecnología proceden del Reino Unido, Estados Unidos, Países Bajos, Alemania y China. No existe ninguna revista en la máxima categoría proveniente de

Sudamérica. La revista *Nature Nanotechnology* es la mejor categorizada en la última evaluación realizada por el portal *SCImago Journal & Country Rank*, seguida de *Advanced Materials* como se puede apreciar en la Tabla 4.

Tabla 4. Revista con mayor impacto en el área de la nanociencias y nanotecnología.

Table 4. Journal with the highest impact in the area of nanosciences and nanotechnology.

Puesto	Revista	País	SJR	Índice H
1	<i>Nature Nanotechnology</i>	Reino Unido	11.698	363
2	<i>Advanced Materials</i>	EE. UU.	8.663	563
3	<i>Advanced Functional Materials</i>	Alemania	5.000	349
4	<i>ACS Nano</i>	EE. UU.	4.611	413
5	<i>Nano-Micro Letters</i>	Países Bajos	3.946	67
6	<i>Nano Today</i>	Países Bajos	3.890	155
7	<i>Nano Letters</i>	EE. UU.	3.761	511
8	<i>Small</i>	Alemania	3.225	259
9	<i>Biomaterials</i>	Reino Unido	2.678	397
10	<i>Nano Research</i>	China	2.264	136
11	<i>ACS applied materials & interfaces</i>	EE. UU.	2.143	255
12	<i>Biosensors and Bioelectronics</i>	Reino Unido	2.113	205
13	<i>Journal of Physical Chemistry Letters</i>	EE. UU.	2.009	220
14	<i>Nanoscale</i>	Reino Unido	1.744	244
15	<i>Scripta Materialia</i>	Reino Unido	1.703	205
16	<i>Lab on a Chip</i>	Reino Unido	1.639	221
17	<i>Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology</i>	EE. UU.	1.621	80
18	<i>Materials Science & Engineering A: Structural Materials: Properties, Microstructure and Processing</i>	Países Bajos	1.563	252
19	<i>Journal of Nanobiotechnology</i>	Reino Unido	1.557	84
20	<i>Journal of Physical Chemistry C</i>	EE. UU.	1.103	306

4. DISCUSIÓN

El desarrollo de las nanotecnologías ha alcanzado un nivel significativo durante las últimas décadas gracias a los esfuerzos conjuntos de disciplinas como la física, la electrónica, la bioquímica, la química molecular y computacional, la biología molecular, la medicina, la estadística, la informática y las matemáticas, entre otros. Esto hace que las nanotecnologías, al estar constituidas por un ensamblaje multidisciplinario de ciencias naturales y exactas especializadas, sean consideradas tecnologías emergentes y convergentes, y que se proyecten como disruptivas, ya que representan una revolución [15].

Estados Unidos, Japón, China, Corea y la Unión Europea son regiones líderes en el desarrollo de las nanotecnologías gracias a la asignación de presupuestos gubernamentales significativos para el fortalecimiento de la investigación en este campo científico [16].

Los resultados de un estudio bibliométrico que analizó el contenido publicado en la revista *Journal Nature Nanotechnology* entre los años 2006 a 2015, indicaron que el 55% de los artículos eran citables, además de que el número promedio de autores por artículo fue de 4,57, que las reseñas recibieron la mayor cantidad de citas por artículo y que el factor de impacto aumentó en un 136%. Asimismo, se encontró que la Universidad de Harvard fue líder en el número de publicaciones, y que, por su parte, la Universidad de Cambridge obtuvo el mayor puntaje entre las instituciones destacadas en cuanto a su productividad. Dicho estudio también determinó que el 1% del total de las publicaciones obtuvo más de 1.000 citas y que cerca de la mitad de las publicaciones pertenecen a autores estadounidenses [17].

Velmurugan y Radhakrishnan (2018) analizaron un conjunto de publicaciones en nanotecnología a nivel mundial entre el periodo 2001 y 2015, para posteriormente realizar un análisis bibliométrico a partir de la información recolectada en bases de datos como *Science Citation Index (SCI)*, *Social Science Citation Index (SSCI)* y *Arts & Humanities Citation Index (ACHI)*. A partir de ello, se pudo detectar que la investigación en nanotecnología ha experimentado un crecimiento significativo gracias a la mayor participación de un gran número de autores y centros de investigación a nivel global. Se encontró que el índice de actividad del 2015 fue alto (140,41) frente al del 2003 (31,81), que la tasa de crecimiento relativa de la nanotecnología aumentó de 0,6 en 2001 a 2,05 en 2015 y que la tasa de crecimiento relativo promedio fue de 1,518. El estudio permitió concluir también que China fue el país líder en el número de registros con el 24,34%, seguido de Estados Unidos con el 22,83%; India, por su parte, ocupa el sexto lugar con el 5,41% de la producción total [18].

Otra investigación realizada por medio de técnicas de visualización a través de la *Web of Science (WoS)* acerca de la nanociencia y la nanotecnología entre el periodo 2000- 2013, permitió clasificar los

documentos encontrados de la siguiente forma: artículos (187.949), actas (26.606), reseñas (4.066), materiales editoriales (3.116), elementos nuevos (1.378), correcciones (1.223), cartas (386), artículos biográficos (80), resúmenes de reuniones (70), capítulos de libros (6), bibliografías (5) y reimpressiones (2) [19].

En la India se realizó una investigación bibliométrica con base en la información recolectada en *Web of Science* entre los años 2008 y 2017, en la que se analizaron 16.935 publicaciones. Se determinó que el crecimiento promedio anual es de 123 artículos y que el 2017 fue el año con el mayor número de artículos publicados (2.220), representando cerca del 13% del total. Asimismo, se identificó que ACS Nano fue la revista más productiva entre las 30 analizadas, con un total de 400 artículos. Dentro de esta investigación, Estados Unidos fue el país líder en publicaciones a nivel global con cerca del 30%, mientras que la India ocupó el tercer lugar con el 7,2% de las mismas, junto con China. Lo mismo ocurrió en cuanto al impacto relativo de citas, en el que India se situó por debajo del promedio mundial (0.81) [20].

Por otro lado, un estudio bibliométrico llevado a cabo en Sudáfrica acerca de la nanociencia y la nanotecnología con base en la información del portal WoS en el periodo comprendido entre 2005 y 2016, permitió concluir que dicha región ha experimentado un aumento significativo y permanente en la cantidad de citas y publicaciones, especialmente desde la implementación de la Estrategia Nacional de Nanotecnología en 2005 gracias al apoyo del Gobierno. En cuanto a las cifras, se puede decir que esta región aún tiene mucho por mejorar y crecer, ya que, por ejemplo, Egipto casi dobla a Sudáfrica en el número de publicaciones [21]. Además, otra investigación realizada bajo la misma metodología pero en un periodo de 20 años, encontró que las publicaciones de nanotecnología en Sudáfrica crecieron de manera significativa, pasando de 68 artículos en el 2000 a 1.672 en el año 2019; asimismo, la participación de las publicaciones en nanotecnología aumentó en un 0,52% anualmente, pasando del 1,4% en el 2000 al 6,6% en el 2019 [22].

En otras regiones del continente africano el panorama no es tan alentador, Nigeria ocupa el cuarto lugar en cuanto a publicación científica en nanotecnología y tiene un desempeño relativamente bajo frente a países como Egipto y Sudáfrica, registrando únicamente 645 artículos en la década de 2010 a 2020, una cifra que representa el 11,8% y el 24,8% de la producción de Egipto y Sudáfrica respectivamente [23]. Por su parte, Turquía también ha experimentado un aumento considerable en el número de artículos sobre nanotecnología en las últimas décadas, pasando de 215 artículos en el 2000 a 1.748 en el 2011, una cifra más de 8 veces mayor [24].

En la región iberoamericana hay más de 28 países que contribuyen a la investigación y producción científica en nanotecnología, dentro de los cuales se destacan España, Brasil y México. Los mayores avances están directamente relacionados con la caracterización de nanoelementos y nanoestructuras [25].

La investigación llevada a cabo por Chrishtop et al. (2021) tuvo en cuenta más de 3.000 artículos y 56 revistas de nanotecnología, y permitió clasificar la nanotoxicología en dos ramas. La primera de estas hace referencia a la ecotoxicología y la síntesis verde, y es desarrollada sobre todo en países como India, Irán, Arabia Saudita y sus aliados geográficos. Asimismo, la investigación de nanopartículas biocompatibles con las funciones del cuerpo humano se ha convertido en un tema de gran interés en Estados Unidos, China y algunos países pertenecientes a Europa. Los resultados indican que países como India, Arabia Saudita e Irán han experimentado un crecimiento extensivo de la producción científica en el área, en tanto países como China, Estados Unidos y Brasil han presentado un crecimiento intensivo [9].

5. CONCLUSIÓN

La nanotecnología tiene un gran impacto en la actualidad y sirve como tecnología revolucionaria y beneficiosa en muchos campos dentro de los que se destacan los sectores de la industria, comunicación, medicina, transporte, agricultura, energía, fabricación de materiales, entre otros. En este estudio se detectó heterogeneidad entre regiones del mundo en relación al avance científico expresado en la difusión de artículos, Asia, Norteamérica, Europa poseen las mejores estadísticas. África, Latinoamérica son las zonas de menor productividad académica en el área objeto del presente estudio.

El desarrollo de los conceptos de nanociencia y nanotecnología se infiere que influyen en todos los ámbitos de la ciencia y la tecnología, de manera significativa. De ahí la importancia de conocer el avance en esta área. Los recientes avances en los campos de la física, la química y las ciencias de los materiales han proporcionado una serie de nanomateriales con propiedades únicas que, se espera, mejoren la salud de muchas personas a nivel mundial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] J. Jaimes, I. C. Rios, and C. A. Severiche, “Nanotecnología y sus aplicaciones en la industria de alimentos”, *Revista Alimentos Hoy.*, vol 25, no 41, 51-76, 2017.
- [2] D. Sharma, S. Kanchi, K. Bisetty, and V. Naidu, “Perspective on Analytical Sciences and Nanotechnology,” in *Advanced Environmental Analysis: Applications of Nanomaterials.*, vol. 1, pp. 1-34, 2016. doi: 10.1039/9781782623625-00001
- [3] M. Quintili, “Perspectivas sobre moda, tendencias, comunicación, consumo, diseño, arte, ciencia y

- tecnología nanociencia y nanotecnología... un mundo pequeño,” *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos.*, no. 42, 125-155, 2012.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5263478>
- [4] E. E. González, “Convergencias tecnológicas: selección y adopción,” *Nómadas.*, vol. 55, no 2, 75-93, 2021. doi: 10.30578/nomadas.n55a5
- [5] P. G. García-Zamora, D. Ruiz, “Nanotecnología aplicada a la salud pública,” *Observatorio del Desarrollo.*, vol. 3, no. 12, 19-24, 2014.
<https://estudiosdeldesarrollo.mx/observatoriodeldesarrollo/wp-content/uploads/2021/09/OD12-5.pdf>
- [6] L. L. Valdez-López, M. M. Duque-Mariño, and W. J. Jiménez-Jiménez, “La Nanoquímica, una disciplina en continuo progreso,” *Revista Polo del Conocimiento.*, vol. 5, no 10, pp. 215-226, 2020. doi: 10.23857/pc.v5i10.1800
- [7] M. López, “Nanoquímica: Una verdadera revolución científico-tecnológica,” *Panorama social*, vol. 21, no 10, pp. 39- 50, 2015. doi:10.23857/pc.v5i10.1800
- [8] N. J. Hunt, P. A. G. McCourt, Z. Kuncic, D. G. Le Couteur, and V. C. Cogger, “Opportunities and Challenges for Nanotherapeutics for the Aging Population,” *Front. Nanotechnol.*, vol. 4, 832524, 2022. doi: 10.3389/fnano.2022.832524
- [9] V. Chrishtop, A. Prilepskii, V. Nikonorova, V. Mironov, *Scientometric analysis of the knowledge domain in nanotoxicology*. ChemRxiv. Cambridge: Cambridge Open Engage; 2021; This content is a preprint and has not been peer-reviewed. doi:10.26434/chemrxiv-2021-350tk
- [10] M. Khamis, “2020 Market Analysis of Advanced Nano Research and Nano Tech Applications Conference,” *Journal of Nanoscience & Nanotechnology Research.*, vol. 3, no 2, 1-3, 2019. <https://www.primescholars.com/articles/2020-market-analysis-of-advanced-nano-research-and-nano-tech-applications-conference.pdf>
- [11] G. A. Chávez-Lizárraga, “Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, Ventajas y Desventajas,” *Journal of the Selva Andina Research Society.*, vol. 9, no. 1, 52-61, 2018. http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v9n1/v9n1_a05.pdf
- [12] F. Lu, and D. Astruc, “Nanomaterials for removal of toxic elements from water,” *Coord Chem Rev.* vol. 356, NO. 1, 147-164. 2018. doi:10.1016/j.ccr.2017.11.003
- [13] Q. Zhang, Y. Ying, and J. Ping, “Recent Advances in Plant Nanoscience,” *Advanced Science.*, vol. 9, no 2, 1-32, 2021. doi:10.1002/advs.202103414
- [14] V. Corrêa, F. Gomes., S. Thomas, R. Dias, L. de Castro, S. Thode, F. Veloso, F. da Silveira, M. Galal, N. R. Barbosa, E. Daher, and N. Pagan, “Nanotechnology in Concrete: a Bibliometric Review,” *Brazilian Journal of Experimental Design, Data Analysis and Inferential Statistical.*, vol. 1,

- 1-14, 2021. doi:10.55747/bjedis.v1i1.48410
- [15] J. D. Tutor-Sánchez, “Divulgación y formación en nanotecnología: un puente hacia la bioética,” *Escritos.*, vol. 24, no. 53, pp. 483-506, 2016. doi:10.18566/escr.v24n53.a12
- [16] M. E. Medina, L. E. Galván, and R. E. Reyes, “Las nanopartículas y el medio ambiente”, *Revista Universidad, Ciencia y Tecnología.*, vol. 19 no.74, pp. 49-58, 2015.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212015000100005
- [17] B. Elango, "Scientometric analysis of Nature Nanotechnology", *Library Hi Tech News.*, vol. 34, no 1, pp. 23-30, 2017. doi: 10.1108/LHTN-10-2016-0050
- [18] C. Velmurugan, and N. Radhakrishnan, “Publication Analysis of Nanotechnology in Global Perspective: a Scientometric Approach,” *Research Journal of Library and Information Science.*, vol. 2, no. 2, pp 36-49, 2018.
- [19] T. Muñoz-Écija, B. Vargas-Quesada, and Z. Chinchilla-Rodríguez, “Identification and visualization of the intellectual structure and the main research lines in nanoscience and nanotechnology at the worldwide level,” *Journal of Nanoparticle Research.*, vol. 19, no 62, 2017.
doi: 10.1007/s11051-016-3732-3
- [20] B. Deka, and T. Hazarika, “Scientometric Analysis of Nanotechnology Research with Special Reference to India (2008-17),” *Library Philosophy and Practice (e-journal)*, 4265.
<https://digitalcommons.unl.edu/libphilprac/4265>
- [21] X. Makhoba, and A. Pouris, “Bibliometric analysis of the development of nanoscience research in South African,” *Journal of Science.*, vol. 113, no. 11, 1-9. 2017. doi: 10.17159/sajs.2017/20160381
- [22] B. Masara, J. A. van der Poll, AND M. A. Maaza, “Nanotechnology-foresight perspective of South Africa,” *J Nanopart Res.*, vol. 23, no 92, 2021. doi: 10.1007/s11051-021-05193-6
- [23] A. Lateef, M. A. Azeez, and O. B. Suaibu, et al. “A decade of nanotechnology research in Nigeria (2010–2020): a scientometric analysis”. *J Nanopart.*, vol. 23, no. 211, 2021.
doi:10.1007/s11051-021-05322-1
- [24] H. Darvish, and Y. Tonta, “Diffusion of nanotechnology knowledge in Turkey and its network structure,” *Scientometrics.*, vol. 107, 569–592, 2016. doi:10.1007/s11192-016-1854-0
- [25] J. D. Aguiar, R. Arencibia, J. J. A. Araujo-Ruiz, and D. A. Labaut, “Producción Científica Cubana sobre Nanociencias y Nanotecnología,” *Ciencias de la Información.*, vol. 43, no.1, pp. 05-14, 2012.
<https://www.redalyc.org/pdf/1814/181423784002.pdf>

