

Estudio bibliométrico sobre la producción de documentos alrededor de la mecánica cuántica y su enseñanza en educación básica secundaria y media

Bibliometric Study on the Production of Documents about Quantum Mechanics and its Teaching in Basic Secondary and Medium Education

Katherine Alfonso-Rojas¹

Cómo citar este artículo:

Alfonso-Rojas, K. (2022). Estudio bibliométrico sobre la producción de documentos alrededor de la mecánica cuántica y su enseñanza en educación básica secundaria y media. *Pre-Impresos Estudiantes*, (22), 36-49.

Resumen

La enseñanza de la mecánica cuántica en educación básica secundaria y media (EBSYM) abarca múltiples retos, como por ejemplo, la complejidad en sus montajes experimentales, el nivel de abstracción que debe tener el estudiante para comprender la teoría, los modelos matemáticos, etc., por esta razón, el presente artículo reconoce y analiza la producción científica alrededor de esta temática desde las bases de datos biblio-

gráficos de Scimago, Scopus y LA Referencia en el periodo del 2018 hasta el 2022 de manera global y regional, con el fin de sustentar los últimos avances científicos para abrir nuevos campos de estudio específicamente en la enseñanza de la mecánica cuántica. Lo anterior se realizó por medio de tres fases: 1) selección, 2) ejecución y 3) análisis, debido a que estas plantean la ruta para realizar una búsqueda y un estudio detallado.

¹ Licenciada en Física de la Universidad Pedagógica Nacional (2022). Docente de educación básica y media. Ganadora del concurso Tesis in-bite -DFI. Participante en la v Jornada Pecha Kucha – DFI con el proyecto “construcción de un software educativo”. Kathe.alfonso27@gmail.com

En algunos de los resultados obtenidos en cuanto a la producción de documentos de la mecánica cuántica de manera global, se encuentra que los países principales son China, Estados Unidos y Alemania, mientras que Colombia se encuentra entre el 28% de países con alta producción. En cuanto a la enseñanza de la mecánica cuántica a nivel latinoamericano, Brasil es el país con mayor registro de documentos publicados, mientras que a nivel mundial, es Italia.

La producción de documentos de la enseñanza de la mecánica cuántica en EBSYM aumentó de manera considerable desde 2018 hasta el 2020 y 2021; sin embargo, ha disminuido hasta la actualidad. Lo anterior invita a seguir produciendo este tipo de documentaciones debido a la importancia de llevar temáticas como estas al aula.

Palabras claves: bachillerato; bibliometría; enseñanza; educación; mecánica cuántica

Abstract

The teaching of quantum mechanics in basic secondary and middle school education (EBSYM) encompasses multiple challenges, such as the complexity of its experimental setups, the level of abstraction that the student must have to understand the theory, mathematical models, etc., for this reason, this article recognizes and analyzes the scientific production around this topic from the bibliographic databases of Scimago, Scopus and LA Referencia in the period from 2018 to 2022 globally and regionally, in order to support the latest scientific advances to open new fields of study specifically in the teaching of quantum mechanics. The above was carried out through three phases: 1) Selection, 2) execution and 3) analysis, since they set out the route to carry out a search and a detailed study.

In some of the results obtained regarding the production of quantum mechanics documents globally, it is found that the main countries are China, the United States and Germany, while Colombia is among the 28% of countries with

high production. Regarding the teaching of quantum mechanics at the Latin American level, Brazil is the country with the highest number of published papers, while and worldwide, it is Italy.

The production of documents for the teaching of quantum mechanics in EBSYM increased considerably from 2018 to 2020 and 2021, however, it has decreased until now. The above invites to continue producing this type of documentation due to the importance of carrying out topics like these in the classroom.

Keywords: quantum mechanics; teaching; education; high school; bibliometrics

Introducción

La mecánica cuántica es una rama de la física que plantea nuevos paradigmas debido a que desde el quehacer científico comprende nuevos retos para su desarrollo, como por ejemplo, el cambio de visión frente al mundo físico, pues se debe abandonar la noción determinista dada desde la mecánica clásica para explicar los fenómenos naturales, asimismo, el objeto de estudio de la mecánica cuántica se centra en dimensiones pequeñas, las cuales, según Dirac (1967), son aquellos sistemas en los que la perturbación acompañada por la medición no se puede despreciar, por lo tanto, a este reto se le adiciona la dificultad que tiene el ser humano para acceder a dichos sistemas, por esta razón, se recurre a la construcción de modelos, puesto que son representaciones de fenómenos, objetos, situaciones, etc. con el propósito de contribuir a la comprensión de los comportamientos que los abarcan (Gilbert *et al.*, 2000 citado en Aragón *et al.*, 2018).

Durante gran parte del siglo xx, las descripciones y explicaciones dadas por la mecánica cuántica hacia diferentes fenómenos se han descrito como abstractas o complejas, esto se debe a que son diferentes a lo que se conoce en el mundo *grande o macroscópico*. Por ejemplo, no se puede conocer el estado concreto de una partícula más allá de las probabilidades de obtener un resultado al realizar una observa-

ción (Dirac, 1967) o tener un límite en el acceso a la información en cuanto a la velocidad y posición de las partículas según el principio de incertidumbre Heisenberg.

Teniendo en cuenta este contexto, llevar la mecánica cuántica al aula de educación básica secundaria y media (EBSYM) plantea varios desafíos. En primera instancia, se tiene el imaginario de que para aprender mecánica cuántica es necesario abordar o tener un nivel alto en matemáticas debido a su complejidad, convirtiéndose así en un tema “imposible de entender para los estudiantes de bachillerato” (Johnston *et al.* 1998, citado en Sinarcas y Solbes, 2013, p. 11); de acuerdo con esto, la estructura de los currículos de física de las instituciones empieza a ser limitada debido a que centran su estudio en la mecánica clásica, pues esta es más intuitiva para los estudiantes y los aspectos matemáticos necesarios son accesibles para este nivel educativo.

Esta limitación del currículo de física de las instituciones puede tener como consecuencia que el estudiante construya una visión limitada del mundo físico que lo rodea, debido a que solo se aproxima el aspecto *grande o macroscópico* de este, omitiendo la oportunidad de generar pensamiento científico directamente desde la abstracción y creación de modelos o representaciones, con el fin de que él mismo logre acercarse a concepciones propias de la mecánica cuántica. De la misma manera, esto aportaría a que el estudiante pueda aproximarse a la comprensión de algunos de los avances que ha tenido la sociedad en cuanto a tecnología, dado que la mecánica cuántica tiene diversas aplicaciones como en la electrónica, láser, etc. (Sinarcas y Solbes, 2013).

Pese a las dificultades que supone abordar el estudio de lo *pequeño o microscópico*, muchos docentes han asumido estos retos planteando diversas propuestas y estrategias didácticas, para poder llevar aspectos de la mecánica cuántica a EBSYM, por esta razón, se hace importante destacar las investigaciones que se han reali-

zadas sobre la producción de documentos alrededor de este tema como antecedentes, con el fin de reconocer cuántos se han realizado y cómo se han abordado.

Entre estas investigaciones se encuentra un artículo denominado *Estado del arte: tendencias en la enseñanza de la física cuántica entre 1986 y 2016* (Cuesta, 2018), en el que se analizaron 87 trabajos haciendo énfasis en sus contenidos, bajo la clasificación de diversas categorías, algunas de ellas son:

- Dificultades en la enseñanza de la física cuántica (FC).
- Discusiones acerca de libros de texto para la enseñanza de la FC.
- Propuestas de enseñanza conceptual de la FC.
- Propuestas de enseñanza de la FC con énfasis en las TIC.
- Énfasis en prácticas experimentales para acercar la FC a los estudiantes.
- Reflexiones acerca de la enseñanza de la FC.

Este artículo muestra las publicaciones que se han realizado alrededor de la enseñanza de la física cuántica entre 1986 y 2016; sin embargo, no se centra en un nivel específico de educación, sino que realiza el estudio de manera general y tampoco evidencia de manera explícita el avance de dichas publicaciones a lo largo de los años.

Otra investigación que se encuentra como antecedente es plasmada en el artículo *Mapping of research trends on quantum mechanics publications during 1926-2018: a scientometric analysis*, elaborado por Krishnan *et al.* (2020), en el que se presentan los resultados de la búsqueda en Scopus y bases de datos bibliográficas y se identifican parámetros cuantitativos de documentos como la distribución anual, tasa de crecimiento, tiempo de duplicación, autores más relevantes, institución más productiva, etc. Algunos de los resultados de este estudio

fueron los siguientes: se encontró que durante 1926 y 2018 se publicaron un total de 52 662 documentos, siendo 2013 el año en el que más hubo repercusión con 3 723 documentos registrados, y la máxima tasa de crecimiento fue en 1938; también se encontró que el 80,83 % de los documentos publicados son artículos, mientras que un 8,81 % son documentos de conferencias y el autor que más documentos publicó fue Goddard, W. A. con un total de 190.

Este estudio evidencia los avances de las publicaciones que se han realizado de documentos alrededor de la mecánica cuántica; sin embargo, no se enfoca en aquellas investigaciones realizadas sobre su enseñanza.

Por último, está el artículo titulado *A bibliometric analysis of PER on quantum mechanics in secondary schools* realizado por Patterson y Ding (2022), que presenta el análisis de la producción de documentos entre 1997 y 2021 sobre la enseñanza de la mecánica cuántica en el nivel de educación secundaria, haciendo énfasis en las publicaciones anuales, índice de citas, nacionalidades de los autores, lugar y palabras claves registradas en los documentos desde Web Of Science y Scopus. En este estudio se identificaron un total de 45 documentos con ambas bases de datos, algunos de los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes: 2019 se caracteriza por ser el año en el que se registraron más publicaciones, mientras que en el periodo de 2001 a 2006 no hubo ningún registro, en cuanto al país con mayor número de publicaciones se encuentra Italia con ocho publicaciones, seguido por España con seis.

Este estudio presenta avances sobre las investigaciones dirigidas hacia la enseñanza de la mecánica cuántica en educación secundaria abarcando un periodo con un rango reciente (se realiza hasta el 2021); sin embargo, se realiza solamente de manera global.

Teniendo en cuenta lo presentado anteriormente, se evidencia que sí hay estudios acerca de las investigaciones que se han realizado sobre la

mecánica cuántica, ya sea netamente teóricos o dirigidos hacia su enseñanza en algún nivel educativo; sin embargo, no se tienen en cuenta las publicaciones realizadas en 2022 y tampoco se ha profundizado en estudios de manera regional, es decir, en América Latina. El presente artículo tiene como propósito reconocer y analizar la producción científica alrededor de la mecánica cuántica y su enseñanza en EBSYM, por medio de las bases de datos Scimago, Scopus y LA Referencia en el periodo de 2018 hasta 2022 de manera global y regional, ya que este tipo de investigaciones sustentan los avances científicos para abrir nuevos campos de estudio.

Aspectos teóricos

De acuerdo con lo planteado anteriormente, es necesario reconocer a qué hace referencia el estudio bibliométrico en el presente artículo, con el fin de brindar el marco de referencia en el cual se desarrolló.

Para ello, según Dávila *et al.* (2009), la palabra *bibliometría* proviene de *biblos* que significa libros y *metron* que hace referencia a la acción de medir, esto quiere decir que la bibliometría es la medición de los productos y, en general, la productividad científica alrededor de un tema específico, ya sean documentos como artículos, libros, conferencias, etc., asimismo, también es conocida como “aquel conjunto de conocimientos metodológicos aplicados a la medida” (Cortés, 2007, p. 44), con el fin de conocer la cantidad de publicaciones, citas, *ranking* de países, autores, instituciones, etc., por lo tanto, se puede decir que la bibliometría es una herramienta para obtener datos sobre las investigaciones que se han realizado en periodos de tiempo y lugares específicos sobre una temática en particular.

Los estudios bibliométricos se pueden realizar con ayuda de bases de datos, entre ellas se encuentran las siguientes:

- Scimago Journal & Country Rank: es una base de datos que provee información sobre los indicadores de calidad, impacto, *ranking* de países a nivel global y revistas que han publicado documentos alrededor de un tema (El editor, 2012).
- Scopus: es una base de datos sobre tecnología y ciencia. Según la página oficial (Scopus, 2022), abarca más de 87 millones de documentos (artículos científicos, artículos de conferencias, libros, capítulos, etc.), con 94000 instituciones que aportan sus publicaciones y más de 17 millones de autores.
- LA Referencia: es una base de datos que brinda información sobre la producción científica en América Latina, promoviendo el acceso a distintos textos y documentos, según la página oficial (LA referencia, 2022) contiene información de 12 países, tiene más de 4 millones de documentos, entre ellos, artículos, tesis doctorales, tesis de maestría y reportes.

Metodología

Con la finalidad de mantener un proceso riguroso en el presente estudio, se plantearon tres fases que guiaron su desarrollo. La ruta que se estableció fue la siguiente:

- Fase 1. Selección: en esta fase se estableció el filtro, es decir, se seleccionaron las palabras y limitaciones en las búsquedas en cada base de datos con el fin de obtener resultados más pertinentes al propósito del estudio.
- Fase 2. Ejecución: esta fase se caracterizó por los procesos de búsqueda y sistematización de la información en las bases de datos Scimago, Scopus y LA referencia teniendo en cuenta los filtros establecidos en la fase 1.
- Fase 3. Análisis: en esta fase se realizó el análisis de los datos obtenidos por medio de comparaciones entre las diferentes bases de datos.

Resultados

Para el desarrollo de la primera fase se determinaron tres conjuntos de palabras clave en inglés

para tener una mayor cobertura en los resultados, el primero está compuesto por *quantum physics - quantum mechanics - modern physics* el cual hace referencia al aspecto disciplinar, mientras que en el segundo se encuentran palabras como *teaching - education* para relacionar el aspecto pedagógico que se está buscando y, por último, el tercer conjunto contempla *secondary school - school - high school* para hacer énfasis en el nivel educativo.

Estos tres conjuntos de palabras aportaron en la construcción de la ecuación de búsqueda para las bases de datos Scopus y LA Referencia, mientras que para Scimago se seleccionaron filtros diferentes debido a que las categorías que presenta la plataforma son más generales, en este caso se seleccionó como área *physics and astronomy*, en subcategoría *atomic and molecular physics, and optics*. Los filtros para cada base de datos se encuentran en la tabla 1.

Tabla 1. Filtros de búsqueda para cada base de datos

Base de datos	Ecuación de búsqueda	Limitaciones
Scimago	Physics and astronomy → Atomic and molecular physics, and optics	Rango: 1996-2021
Scopus	TITLE-ABS-KEY ("teaching" OR "Education") AND TITLE-ABS-KEY ("School" OR "High School" OR "Secondary School") AND TITLE-ABS-KEY ("quantum mechanics" OR "quantum Physics" OR "modern physics")	Rango: 2018-2022
LA referencia	Todos los campos: (teaching OR education) AND ("school" OR "high school" OR "secondary school") AND ("quantum mechanics" OR "quantum physics" OR "modern physics")	Rango: 2018-2022

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta los filtros presentados en la tabla 1, se procedió con la búsqueda, en la cual se obtuvieron los siguientes resultados por cada base de datos:

Scimago

Con el objetivo de ampliar la investigación sobre la producción científica alrededor de temáticas *physics and astronomy, atomic and molecular physics, and optics*, se obtuvo que los países líderes en su investigación a nivel global son encabezados por China con 277 814 documentos, Estados Unidos con 219 337 y Alemania con 83 741, en el décimo puesto se encuentra a Corea del Sur con 36 690, los demás países que pertenecen al top 10 en esta búsqueda se encuentran en la tabla 2.

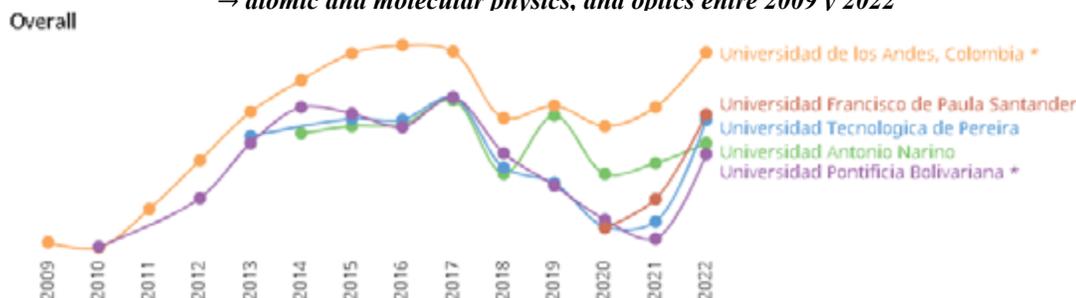
Tabla 2. Top 10 de países que lideran en la producción científica con el filtro *physics and astronomy* → *atomic and molecular physics, and optics* entre 1996 y 2021

Países	Número de documentos publicados
China	277 814
Estados Unidos	219 337
Alemania	83 741
Federación Rusa	75 001
Japón	70 485
Reino Unido	58 108
Francia	56 548
India	49 967
Italia	37 828
Corea del Sur	36 690

Fuente: Scimago (2022). <https://www.scimagojr.com/index.php>

En cuanto a Colombia, ocupa el puesto 53 (de 187) con un total de 2 111 documentos publicados, donde se encontró que en el desempeño científico de los últimos años (2009-2022) en instituciones colombianas se posicionan la Universidad de los Andes, Universidad Distrital Francisco de Paula Santander, Universidad Tecnológica de Pereira, Universidad Antonio Nariño y la Universidad Pontificia Bolivariana, como se puede observar en la figura 1.

Figura 1. Desempeño científico de las instituciones colombianas con el filtro *physics and astronomy* → *atomic and molecular physics, and optics* entre 2009 y 2022



Fuente: desempeño científico general de instituciones colombianas, Scimago [Gráfica] (2022). <https://www.scimagojr.com/index.php>

En cuanto a las diez publicaciones más importantes a nivel global en el tema en cuestión se encuentran dadas por las revistas *Nature Nanotechnology* del Reino Unido en el puesto #1 con un Sjr² de 11 698, seguida por *Nature Photonics* con un Sjr de 10 991, en el tercer lugar se encuentra *Advances in Optics and Photonics* de Estados Unidos con un Sjr de 7 473, mientras que en el décimo puesto está la revista *Advanced Optical Materials* de Estados Unidos con Sjr de 2 411. Las demás revistas que hacen parte de este top 10 se encuentran en la tabla 3. En esta búsqueda también se encontró que no hay registros de publicaciones en el top de revistas a nivel regional en Scimago.

Tabla 3. Top 10 de publicaciones más importantes a nivel mundial con el filtro physics and astronomy → atomic and molecular physics, and optics entre 1996 y 2021

Título	Tipo	Sjr	País
Nature Nanotechnology	Revistas	11 698	Reino Unido
Nature Photonics	Revistas	10 991	Reino Unido
Advances in Optics and Photonics	Revistas	7 473	Estados Unidos
Light: Science and Applications	Revistas	5 497	Reino Unido
Optica	Revistas	4 164	Estados Unidos
ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing	Revistas	3 481	Países Bajos
Laser and Photonics Reviews	Revistas	3 172	Alemania
Progress in Quantum Electronics	Revistas	2 780	Reino Unido
Quantum	Revistas	2 713	Austria
Advanced Optical Materials	Revistas	2 411	Estados Unidos

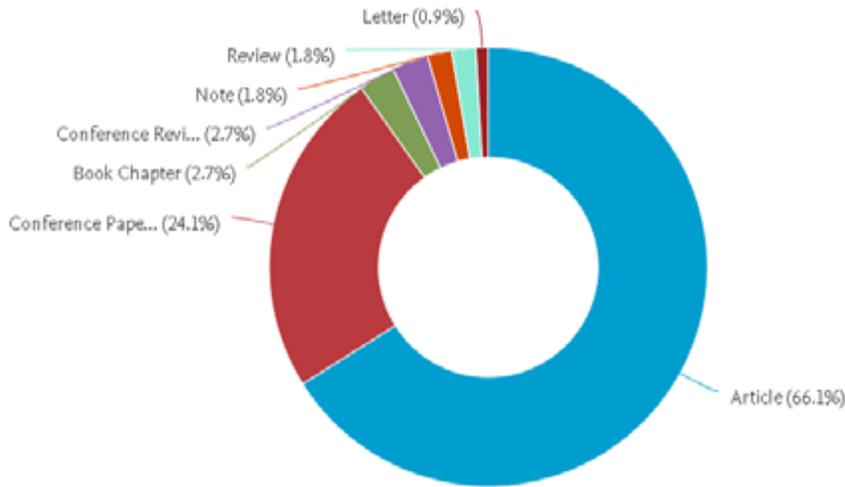
Fuente: Scimago (2022). <https://www.scimagojr.com/index.php>

Scopus

Como se puede observar en la figura 2, en esta base de datos se obtuvieron 112 resultados, de los cuales el 66,1 % (74) son artículos; el 24,1 % (27), documentos de conferencias; el 2,7 % (3), capítulos de libros y artículos de conferencias; el 1,8 % (2), notas y revisiones y finalmente, el tipo de documentos con menor registro son las cartas con un 0,9 % (1).

2 El SCImago Journal Rank es un factor que establece la calidad de las publicaciones científicas, este factor es extraído del recuento de citas por cada publicación.

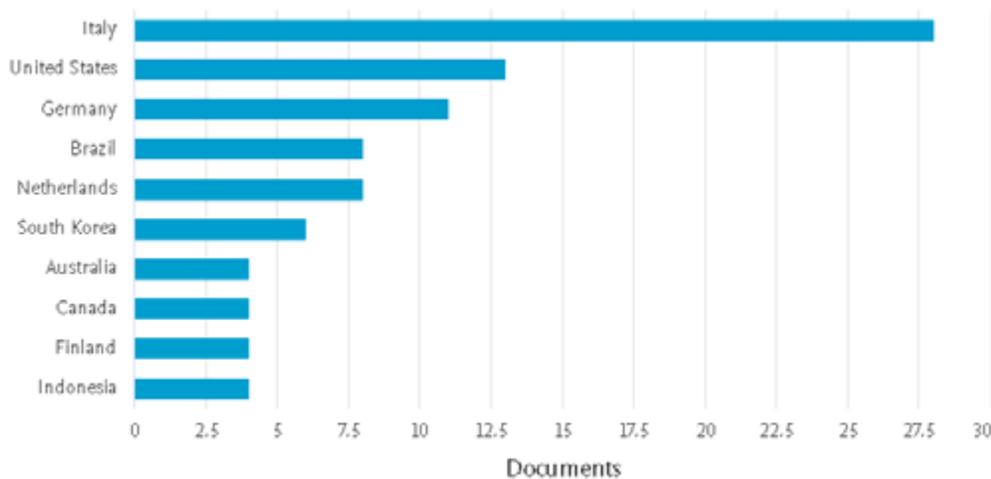
Figura 2. Distribución de documentos según su tipo. De acuerdo con la ecuación de búsqueda en Scopus entre el 2018 y 2022



Fuente: documentos por tipo, Scopus [Gráfica] (2022). <https://www.scopus.com/home.uri>

También se evidenció que los países con mayor cantidad de publicaciones son Italia con 28, seguido por Estados Unidos con 13, y en el tercer lugar se encuentra Alemania con 11 documentos registrados, mientras que en el décimo puesto se encuentra Indonesia con 4. El Top 10 completo se puede observar en la figura 3.

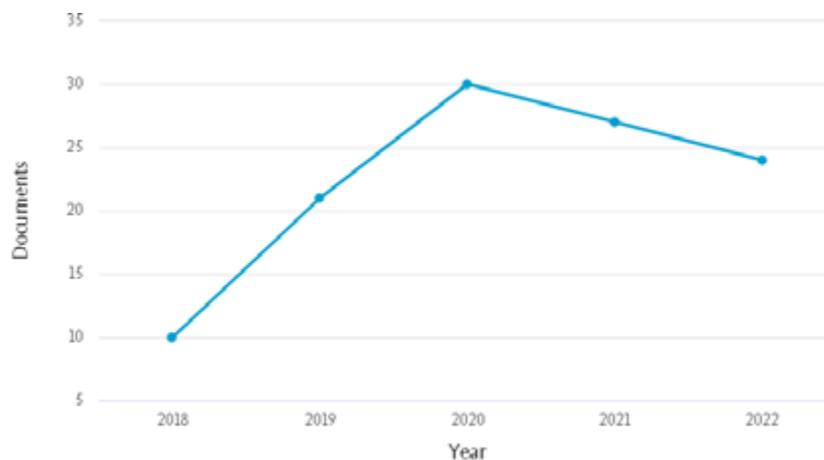
Figura 3. Top 10 de países con mayor número de publicaciones de acuerdo con la ecuación de búsqueda para la base de datos Scopus entre el 2018 y 2022



Fuente: documentos por país, Scopus [Gráfica] (2022). <https://www.scopus.com/home.uri>

También se logró evidenciar que el año en el que se publicaron más documentos, de acuerdo con la ecuación de búsqueda, fue 2020, pues hay un registro de 30, seguido por el 2021 con 27, mientras que en el 2022 hubo 24, para el 2019 solo 21, finalmente, en el 2018 solo se registran 10 publicaciones como se puede observar en la figura 4.

Figura 4. Cantidad de documentos publicados por año (desde el 2018 hasta el 2022) según la ecuación de búsqueda dada en Scopus



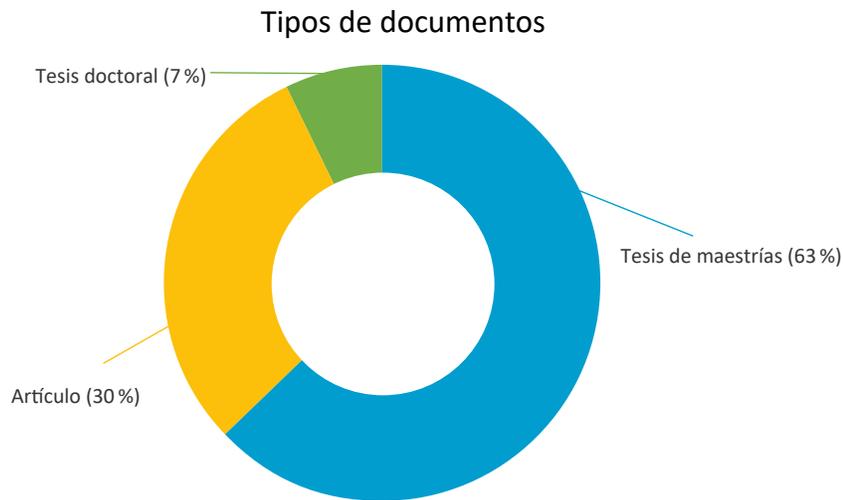
Fuente: documentos por años, Scopus [Gráfica] (2022). <https://www.scopus.com/home.uri>

Por otro lado, el autor con más producción de acuerdo con la ecuación de búsqueda es Philipp Bitzenbauer con seis documentos, seguido por Marisa Michelin con cuatro publicaciones, en el tercer lugar se posicionan Nuri Balta y Elmo Benedetto con tres, otros de los autores se pueden observar en el anexo A. De la misma manera, se encontró que entre las instituciones que más apoyan la publicación de documentos están Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg y Università degli Studi di Salerno con un registro de seis publicaciones, seguidos por y Rijksuniversiteit Groningen, Universiteit Twente y Università degli Studi di Udine con cuatro registros. Otras organizaciones se pueden encontrar en el anexo B.

LA Referencia

Haciendo énfasis en el nivel regional, se obtuvieron un total de 86 resultados, donde el 63 % son tesis de maestría, el 30 % son artículos y el 7 % son tesis doctorales (ilustración 5).

Figura 5. Distribución de documentos según su tipo. De acuerdo con la ecuación de búsqueda en LA referencia entre el 2018 y 2022



Fuente: elaboración propia.

En este caso se logró evidenciar que los países que lideran la producción académica en Latinoamérica son Brasil con 71 documentos, seguido por Argentina con tres y en el tercer lugar (de seis) se encuentra Colombia con dos publicaciones.

También se encontró que los autores con mayor número de publicaciones de acuerdo con la ecuación de búsqueda son Pere Lavega con tres, seguido por Alan Alves, Antoni Costes, María de Los Ángeles Fanaro y André Felipe Hoerning con dos.

Por otro lado, entre las universidades que más publican en Latinoamérica, de acuerdo con la ecuación de búsqueda, están, en primer lugar, la Universidade Federal do Rio Grande do Sul con nueve documentos, seguida por la Universidade Federal de Juiz de Fora y la Universidade Federal do ABC con seis registros, en el tercer puesto se encuentra la Universidade Federal de Santa Catarina con cinco. Haciendo una búsqueda de universidades colombianas, solo se encuentra en el décimo segundo puesto la Universidad Nacional.

Una síntesis de los resultados obtenidos por medio de Scopus y LA Referencia (debido a que en ambas la búsqueda fue dirigida a la enseñanza de la mecánica cuántica en EBSYM) se puede observar en la tabla 4.

Tabla 4. Indicador de producción según las ecuaciones de búsqueda en Scopus y LA Referencia entre el 2018 y 2022

Indicador	Descripción	Fuente	2018	2019	2020	2021	2022
Indicador de producción	Total de artículos	Scopus	7	11	22	19	15
	Total de libros	Scopus	0	0	0	0	0
	Total de capítulos de libros	Scopus	0	0	1	2	0
	Total de notas	Scopus	0	0	1	0	1
	Total de <i>conference paper</i>	Scopus	3	9	3	5	7
	Total de <i>conference review</i>	Scopus	0	1	1	0	1
	Total de <i>review</i>	Scopus	0	0	1	1	0
	Total de <i>letters</i>	Scopus	0	0	1	0	0
	Principal entidad financiadora	Scopus	Univer- sità degli Studi di Palermo	Univer- sità degli Studi di Salerno, Seoul National University	Liceo Sta- tale Ischia, Rijksuni- versiteit Gronin- gen, Ins- titute for Science Education and Com- munica- tion	Friedrich- Alexan- der- Uni- versität Erlangen-	Università
	Principal país de producción (sin incluir país de origen)	Scopus	Italia con 4 docu- mentos	Italia con 5 docu- mentos	Alema- nia con 5 documen- tos	Italia don 6 docu- mentos	Italia con 9 documen- tos

Indicador de producción	Autores con mayor publicación	Scopus	* Par-deep Kumar Ahluwalia * Louisa Allen * Iván Area * Nuri Balta	* Trise Nurul Ain *Altoe Fusinato Polonia *Aissa Azevedo * Nuri Balta	* Arturo Colantoni * Silvia Galano * Irene Marzoli * Philipp Bitzenbauer	* Philipp Bitzenbauer	* Elmo Benedetto * Gerardo Iovane * Marisa Michellini * Nuri Balta * Philipp Bitzenbauer
	Total de artículos	LA Referencia	4	4	4	12	2
	Total de libros	LA Referencia	0	0	0	0	0
	Total de tesis de doctorado	LA Referencia	1	1	1	3	0
	Total de maestrías	LA Referencia	13	18	9	12	2
	Principal país de publicación (sin incluir el país de origen)	LA Referencia	Brasil con 15 documentos	Brasil con 22 documentos	Brasil con 12 documentos	Brasil con 18 documentos	Brasil con 4 documentos
	Autores con mayores publicaciones	LA Referencia	* Alonso José Ignacio * Altoe Fusinato Polonia * CARLOS EDUARDO DE FARIAS ARAÚJO * PERE LAVEGA I BURGÚES.	* Sabrina Eleutério Alves * Regiani Natalli Azevedo * Giovana Espíndola Batista	* Keidy Alejandra Alvarado Puentes * Khenya Maria Araujo * Marivane de Oliveira Biazus	* Alan Alves-Brito * Antoni Costes i Rodríguez * Pere Lavega i Burgués	* Elmo Benedetto * Wladimir Sérgio Braga, * Adriana da Silva Fontes

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

En este estudio se logró evidenciar que los países con mayor producción de documentos alrededor de la mecánica cuántica son China, Estados Unidos y Alemania, mientras que Colombia se encuentra en el puesto 53, por lo tanto, está entre el 28% de países

con alta producción debido a que hay un total de 187 registrados, por otro lado, las revistas de Reino Unido y Estados Unidos son las que tienen un mayor impacto en la documentación.

En cuanto a la enseñanza de la mecánica cuántica en EBSYM, se puede observar que el tipo de documentos que más se han publicado son artículos y tesis de maestría, donde el país con mayor documentación a nivel global es Italia, y la institución que ha aportado de manera considerable es la Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg de Alemania, mientras que en América Latina el país más destacado es Brasil. Sin embargo, Colombia ha tenido una mediana producción documental debido a que ocupa el tercer lugar de seis registrados, con la Universidad Nacional como afiliación destacada.

Los años en los que hubo mayor producción entre el 2018 y el 2022 fueron el 2020 y 2021; sin embargo, ha disminuido hasta la actualidad. En cuanto a los autores, Scopus y LA Referencia tienen en común a Elmo Benedetto y Alton Fusinato, los cuales han aportado en la documentación, no obstante, los que más han publicado son Philipp Bitzenbauer y Pere Lavega.

Los resultados aportan en el sentido en el que amplían los estudios sobre la producción científica de temáticas como la mecánica cuántica hasta 2021 (desde Scimago), debido a que los antecedentes que se encontraron de este tipo se realizaron hasta el 2018; por otro lado, abarca un panorama más específico de su enseñanza, pues las búsquedas van dirigidas a EBSYM incluyendo el año 2022 de manera global y regional. Lo anterior invita a profundizar en este tipo de producción y apoyar nuevas investigaciones, pues estudios como este pueden abrir paso a generar contribuciones haciendo énfasis en el nivel regional sobre la enseñanza de la mecánica cuántica o demás aspectos de la física moderna, los cuales generalmente se omiten en estos niveles educativos.

Referencias

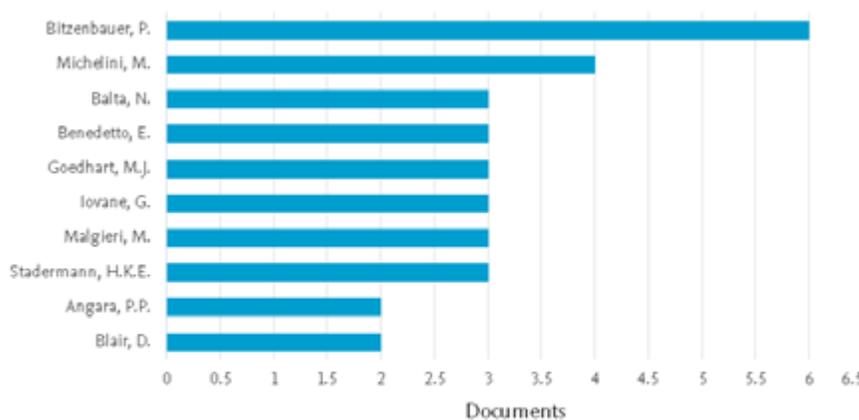
- Aragón, L., Tenorio, N., Martínez, J. y Méndez, M. (2018). La modelización en la enseñanza de las ciencias: criterios de demarcación y estudio de caso. *Revista Científica*, 32(2), 193-206. <https://doi.org/10.14483/23448350.12972>
- Cortés, D. (2007). Medir la producción científica de los investigadores universitarios: la bibliometría y sus límites. *Revista de la Educación Superior*, 36(142), 43-65. <https://www.redalyc.org/pdf/604/60414203.pdf>
- Cuesta, Y. (2018). Estado da arte: tendencias en la enseñanza de la física cuántica entre 1986 e 2016. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (44), 147-166. <http://www.scielo.org.co/pdf/ted/n44/0121-3814-ted-44-147.pdf>
- Dávila, M., Guzmán, R., Macareno, H., Piñeres, D., de la Rosa, D. y Caballero, C. (2009). Bibliometría: conceptos y utilidades para el estudio médico y la formación profesional. *Revista Salud Uninorte*, 25(2), 319-330. <http://www.bibliotecaminsal.cl/wp/wp-content/uploads/2015/07/Bibliometria-conceptos-y-utilidades.pdf>
- Dirac, P. (1967). *Principios de mecánica cuántica*. Editorial Ariel. https://www.academia.edu/36222788/Principios_de_mec%C3%A1nica_cu%C3%A1ntica_4ta_Edicion_Paul_A_Dirac_Oxford_pdf
- El editor. (2012). SClmago. *Formación Universitaria*, 5(5), 1. <https://www.redalyc.org/pdf/3735/373534506001.pdf>
- Krishnan, P., Baskaran, C. y Manthiramoorthi, M. (2020). Mapping of research trends on quantum mechanics publications during 1926-2018: a scientometric analysis. *Aegaeum journal*, 8(10), 569-585. <http://aegaeum.com/gallery/agm.j-4202.58-f.pdf>

Patterson, Z. y Ding, L. (2022, 13-14 de julio). *A bibliometric analysis of PER on quantum mechanics in secondary schools*. [Sesión de conferencia]. Paper presented at Physics Education Research Conference 2022, Grand Rapids, MI. 341-346. 10.1119/perc.2022.pr.Patterson

Sinarcas, V. y Solbes, J. (2013). Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la física cuántica en el bachillerato. *Revista de investigación y experiencias didácticas*, 31 (3), 9-25. <https://core.ac.uk/download/pdf/71025991.pdf>

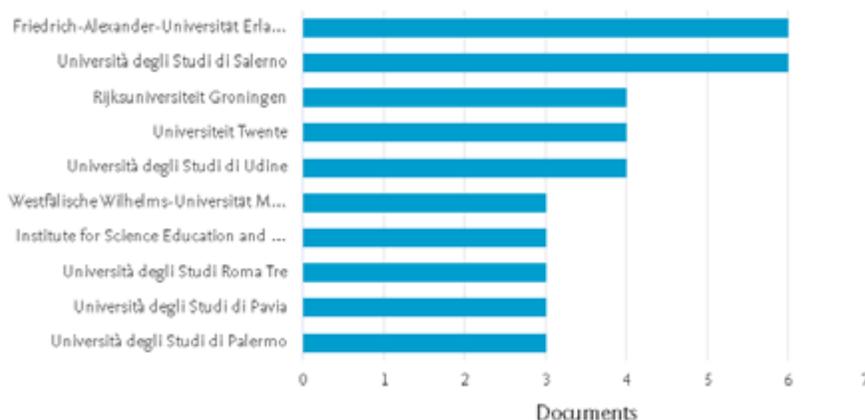
Anexos

Figura 6. Autores con mayor número de publicaciones de acuerdo con la ecuación de búsqueda en Scopus entre el 2018 y 2022



Fuente: autores con mayor número de publicaciones, Scopus [Gráfica] (2022).
<https://www.scopus.com/home.uri>

Figura 7. Instituciones con mayor número de publicaciones de acuerdo con la ecuación de búsqueda en Scopus entre el 2018 y 2022



Fuente: instituciones con mayor número de publicaciones, Scopus [Gráfica] (2022).
<https://www.scopus.com/home.uri>