



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2024,
Volumen 8, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5

ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DEL IMPACTO DE LOS LABORATORIOS DE FÍSICA EN EL APRENDIZAJE

**BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF THE IMPACT OF PHYSICS
LABORATORIES ON LEARNING**

Juan Patricio Aguirre Mateus
Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Marcos Francisco Guerrero Zambrano
Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Luis Javier Aguirre Mateus
Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Leonor Mercedes Sanchez Alvarado
Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14237

Análisis Bibliométrico del Impacto de los laboratorios de Física en el Aprendizaje

Juan Patricio Aguirre Mateus¹

jaguirrem1@unemi.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-1245-0925>

Universidad Estatal de Milagro

Marcos Francisco Guerrero Zambrano

mguerreroz@unemi.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5617-6836>

Universidad Estatal de Milagro

Luis Javier Aguirre Mateus

laguirrem6@unemi.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5770-1014>

Universidad Estatal de Milagro

Leonor Mercedes Sanchez Alvarado

lsancheza4@unemi.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0008-1549-0440>

Universidad Estatal de Milagro

RESUMEN

Este análisis bibliométrico evalúa 205 artículos sobre el impacto de los laboratorios de física en el aprendizaje, destacando un aumento significativo en las publicaciones desde 2013. Se examinan los cinco artículos más citados, los cuales exploran laboratorios que utilizan realidad aumentada, realidad virtual, simulaciones, entre otros. Aunque los laboratorios siguen siendo herramientas clave en la enseñanza de la física, los resultados sobre su efectividad son variados. Estados Unidos lidera la producción científica en este campo, y se concluye que, aunque las tecnologías emergentes ofrecen oportunidades prometedoras, se necesita más investigación para comprender completamente su impacto en el aprendizaje.

Palabras Clave: laboratorios de física, realidad aumentada, impacto en el aprendizaje, aprendizaje automático, análisis bibliométrico

¹ Autor principal

Correspondencia: lsancheza4@unemi.edu.ec

Bibliometric Analysis of the Impact of Physics Laboratories on Learning

ABSTRACT

This bibliometric analysis evaluates 205 articles on the impact of physics laboratories on learning, highlighting a significant increase in publications since 2013. The five most cited articles are examined, which explore laboratories that use augmented reality, virtual reality, simulations, among others. Although laboratories continue to be key tools in teaching physics, the results on their effectiveness are varied. The United States leads scientific production in this field, and it is concluded that, although emerging technologies offer promising opportunities, more research is needed to fully understand their impact on learning.

Keywords: physics laboratories, augmented reality, learning impact, machine learning, bibliometric analysis

Artículo recibido 15 septiembre 2024

Aceptado para publicación: 02 octubre 2024



INTRODUCCIÓN

El aprendizaje de la física, una de las ramas más complejas y fundamentales de las ciencias naturales, ha sido históricamente un desafío para estudiantes y educadores debido a la naturaleza abstracta de muchos de sus conceptos (Loeffler et al., 2024). Aunque las ecuaciones y teorías físicas son poderosas para describir y predecir fenómenos naturales, muchas se vuelven difíciles de visualizar y comprender (Juhásová & Kireš, 2024). Elaborar técnicas mejoradas de enseñanza de la física ha sido uno de los últimos desafíos, en los que los laboratorios han tenido una de las mayores influencias (Arymbekov et al., 2024). En estos entornos experimentales los estudiantes pueden realizar investigaciones prácticas, volver a realizar fenómenos naturales, y experimentar aplicaciones de las teorías aprendidas en el aula concretas (Sakibayeva & Sakibayev, 2024). Es decir, los laboratorios de física no solo reforzaran los conceptos teóricos, sino que se fomenta también el desarrollo de habilidades experimentales y pensamiento crítico, constituyentes indispensables de la formación científica (Crouch et al., 2018).

La investigación educativa sobre los laboratorios en el proceso de enseñanza-aprendizaje han tratado de determinar en qué medida las experiencias tienen efecto en el rendimiento académico de los estudiantes, en su comprensión conceptual y en su actitud hacia la física (Semerikov & Striuk, 2024). En paralelo, se ha explorado el papel que desempeñan los laboratorios en la formación de competencias transversales como la resolución de problemas, el trabajo en equipo y el análisis (Krupczak Jr. et al., 2000; Werth et al., 2022).

Sin embargo, la exposición de estos esfuerzos es evidente que esta literatura es diversa en enfoques y resultados, por lo cual exige un análisis sistemático y exhaustivo acerca de la contribución de los laboratorios en el aprendizaje de la Física (Akingbola et al., 2024).

El análisis bibliométrico es utilizado como herramienta de evaluación de la producción científica, permitiendo la observación de patrones de publicación, la identificación de fuentes de mayor influencia e identificar tendencias en investigación en distintos campos de conocimiento. Pero si se hablan del impacto sobre el aprendizaje de las físicas laboratorio, un proceso bibliométrico ofrece una visión clara del interés en esta temática que ha crecido con el transcurso del tiempo (Ruiz-Tipán & Valenzuela, 2021).

El presente estudio bibliométrico se centra en la literatura de la base de datos SCOPUS, una de las más amplias y de mayor aceptación a nivel internacional en el área de ciencias. Con las palabras clave "IMPACT AND LABORATORIES AND PHYSICS AND LEARNING" se hizo la búsqueda, obteniéndose la identificación de 205 artículos que tratan el tema. A través de este corpus de estudios se examinará las publicaciones por año, para así ver cómo el interés académico en los laboratorios de física ha evolucionado temporalmente y en lo que medida ha impactado el aprendizaje. Además, se analizará la autoría de cosas que han contribuido con el conocimiento en esta zona. Por otro lado, se tomarán los países de origen de las publicaciones como medio para recabar una perspectiva de los países donde se ha investigado más sobre el tema, así como las instituciones u organizaciones que patrocinaron o apoyaron estas investigaciones.

Una parte central de esta investigación bibliométrica será la revisión de los cinco artículos más citados. Las citas son un indicador clave del reconocimiento e influencia de una publicación dentro de la comunidad académica, y la revisión de los artículos con mayor número de citas nos permitirá identificar las investigaciones que han tenido un mayor impacto en la evolución del conocimiento sobre los laboratorios de física y su papel en el aprendizaje. A través de esta revisión, se podrá identificar las metodologías que han estado empleando, los principales hallazgos y así las áreas de investigación futura que se proponen estos estudios. Finalmente, se analiza las fuentes de publicación sobre la difusión del impacto de los laboratorios en la enseñanza de la física, así como en organizaciones donde se presentaron los resultados de dicho estudio.

El objetivo principal de este análisis bibliométrico es proporcionar una visión integradora del estado de la investigación sobre el impacto de los laboratorios de física en el aprendizaje, proporcionando una perspectiva tanto cuantitativa como cualitativa sobre las tendencias, contribuciones y lagunas en la literatura científica. Además de ser útil para investigadores y educadores que trabajan para mejorar la enseñanza de la física, esta investigación también será utilizada por agencias gubernamentales responsables de tomar decisiones basadas en evidencia sobre la implementación de laboratorios en programas educativos.



METODOLOGÍA

Para efectuar esta revisión bibliográfica, se consultó y se seleccionó estudios en la plataforma SCOPUS, una de las bases de datos más extensas y de mayor calidad en materia de producción científica. El proceso de búsqueda utilizó las palabras clave "IMPACT AND LABORATORIES AND PHYSICS AND LEARNING" con el fin de identificar estudios relacionados con el impacto de los laboratorios de física en el aprendizaje. Esta búsqueda resultó en 205 artículos publicados que integraron la muestra de análisis. Cuando se obtuvo la muestra se procedió a utilizar varios criterios bibliométricos para evaluar las publicaciones. En primer lugar, se realizó un análisis de la temporalidad de los artículos con el objetivo de establecer tendencias temporales de la investigación. Posteriormente, se identificaron los autores más productivos con referencia al número de artículos que produjeron, así como a las citas obtenidas por dichos artículos.

Además, se exploraron los orígenes de los estudios, incluyendo agrupar los artículos con respecto al país de origen de los autores. Se involucró también la evaluación de organizaciones e instituciones que han apoyado los proyectos de investigación más valiosos, así como los pozos de publicación, es decir, revistas científicas y congresos donde se han ido difundiendo estos estudios. Por último, se resaltaron los cinco trabajos más citados para realizar una revisión crítica de su impacto, enfoque y principales aportaciones en la fundamentación de este campo.

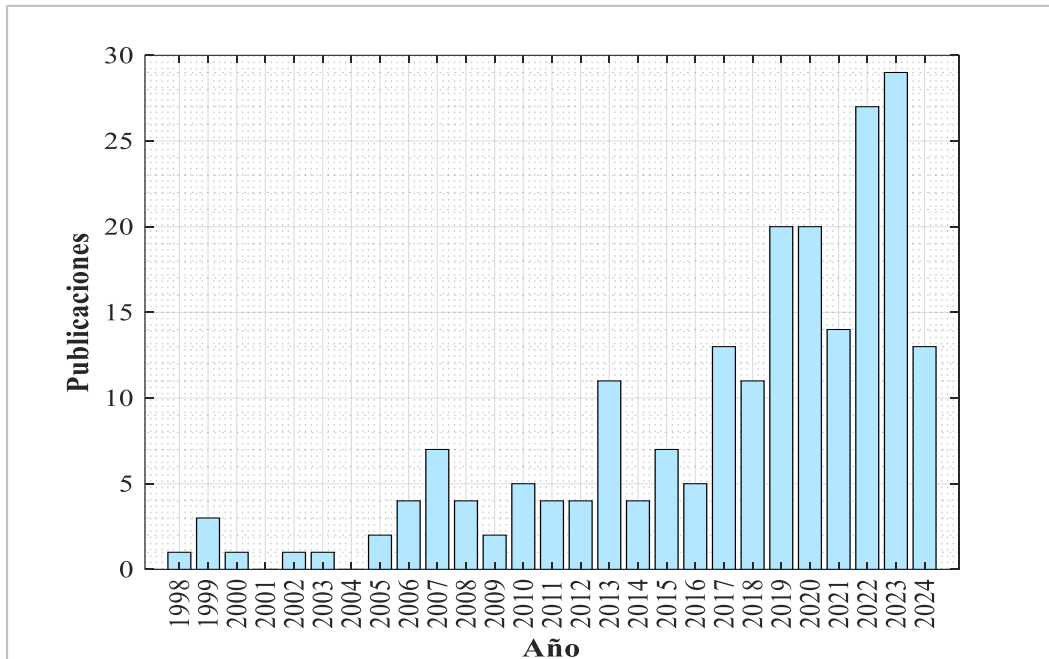
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la

Figura 1, se refleja una tendencia creciente en la producción científica sobre el impacto de los laboratorios de física en el aprendizaje, especialmente a partir del año 2013. Antes de esa fecha, los documentos anuales eran bastante limitados, con un total no superior a cinco en promedio. Desde el 2013 se evidencia un repunte importante, destacándose los ejes 2022 Y 2023 con más de 25 publicaciones anuales. Esta tendencia denota un mayor número de personas interesadas en este tema, debido a la introducción de nuevas prácticas en educación con la ayuda de nuevas tecnologías en el aula.

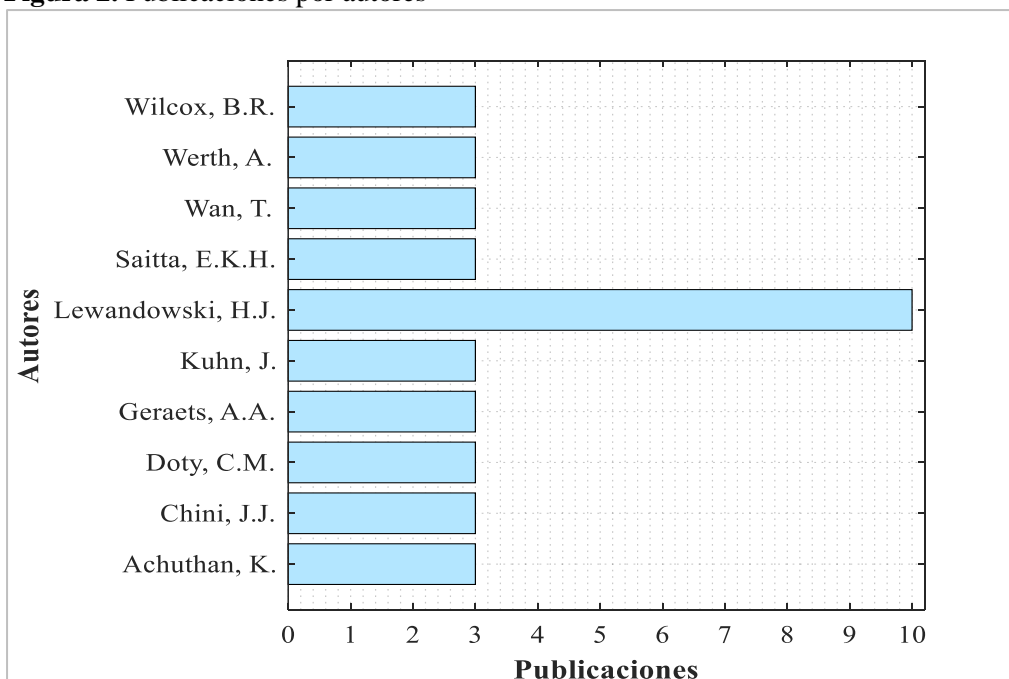


Figura 1. Publicaciones por año



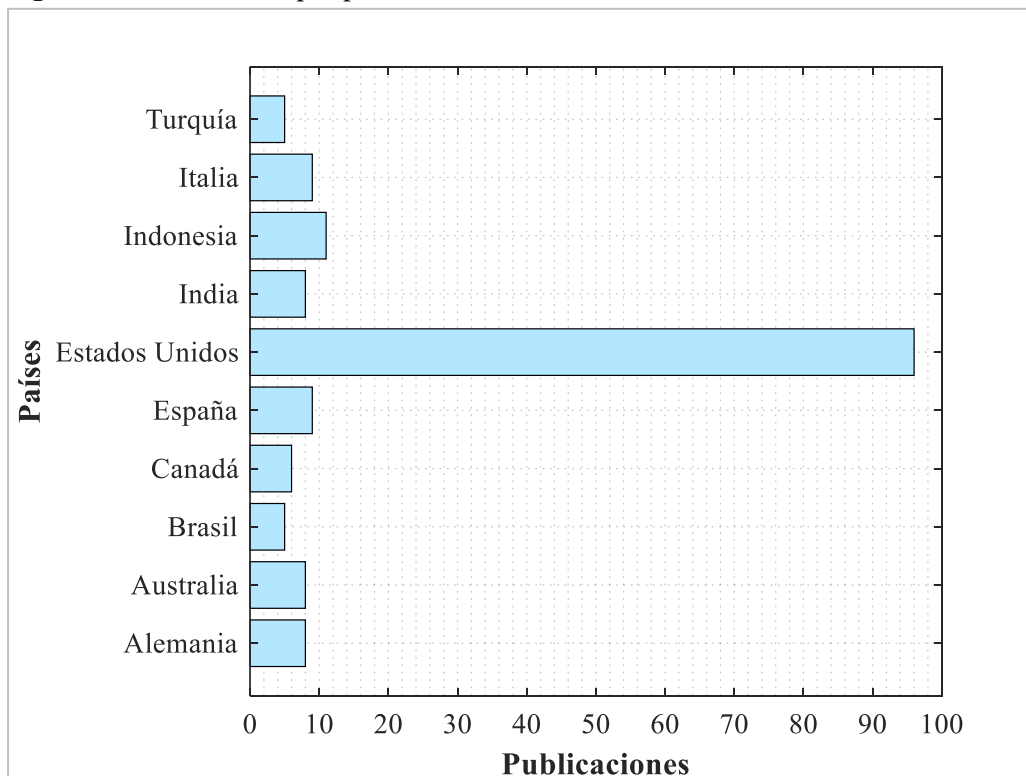
En la Figura 2, se presenta la revisión de la literatura obispada por distintos autores sobre el tema de impacto de los laboratorios de física en el proceso de enseñanza. Se muestra con mayor importancia H.J. Lewandowski quien ha publicado en mayor cantidad (10 artículos) indicativo de liderazgo en tan línea de investigación. Los demás autores, incluidos Wilcox B. R., Werth A., Wan T., etc., tienen entre uno y dos artículos publicados lo que destaca la remarcable contribución de Lewandowski.

Figura 2. Publicaciones por autores



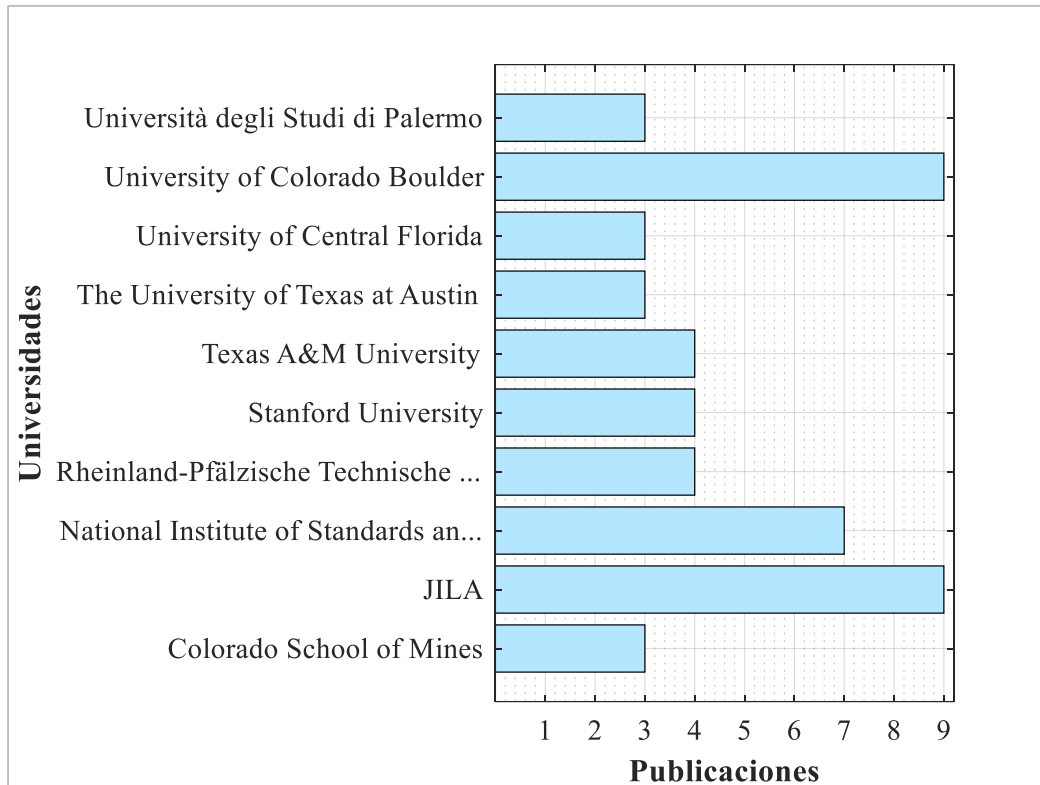
En la Figura 3, se muestra la distribución de publicaciones por país en el área de influencia de los laboratorios de física en el aprendizaje. Los Estados Unidos tienen un número impresionante de 96 artículos, lo que sugiere su papel central en este campo de estudio. Otros países incluidos son Alemania, Australia, Canadá, España, Brasil y Turquía tienen una contribución mucho menor, por lo que van de 1 y 5 trabajos. Esto suena que a nivel mundial hay interés en el tema, pero la mayoría de los estudios se hacen en los Estados Unidos.

Figura 3. Publicaciones por países



En la Figura 4, se evidencia las principales afiliaciones institucionales en la investigación sobre el impacto de los laboratorios de física en el aprendizaje. Destacan el University of Colorado Boulder y JILA con la mayor cantidad de publicaciones, con 9 contribuciones cada una, lo que indica que son centros clave de investigación en este ámbito. Otras instituciones como el National Institute of Standards and Technology (NIST) también presentan una contribución relevante con 7 publicaciones. El resto de las afiliaciones presentan una contribución de entre 3 y 4 publicaciones. Esto refleja que, aunque hay una diversidad de instituciones contribuyendo al campo, algunas universidades estadounidenses como el University of Colorado Boulder y JILA tienen una presencia más prominente.

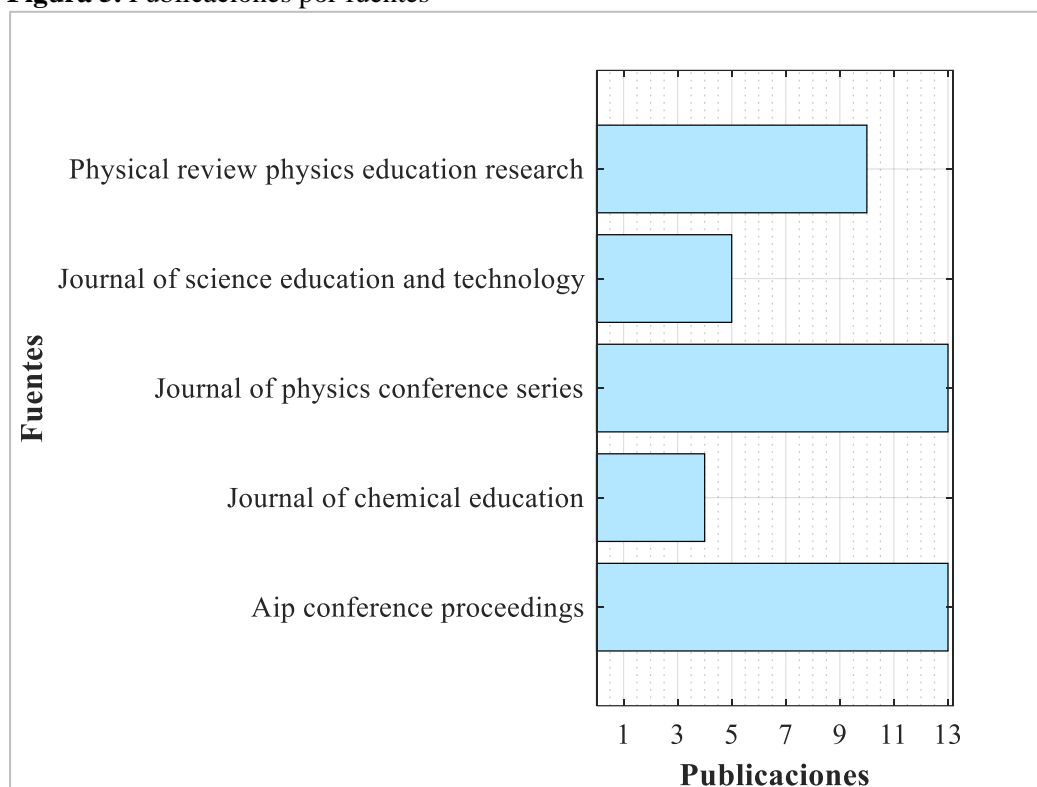
Figura 4. Publicaciones por organizaciones



En la Figura 5 se muestra las principales fuentes de publicación relacionadas con la investigación sobre el impacto de los laboratorios de física en el aprendizaje. AIP Conference Proceedings y el Journal of Physics Conference Series destacan como las fuentes más utilizadas, con 13 publicaciones cada una. Estas fuentes son clave para la difusión de investigaciones en el ámbito de la educación en física. Otras fuentes importantes incluyen Physical Review Physics Education Research y Journal of Science Education and Technology, que cuentan con 10 y 5 publicaciones.

En menor medida, el Journal of Chemical Education también contribuye al tema con 4 publicaciones. Esto sugiere que las conferencias y revistas especializadas en educación y tecnología científica son los principales medios de divulgación en esta área de estudio.

Figura 5. Publicaciones por fuentes



En la Tabla 1, se presenta los 12 trabajos más citados de un total de 205 trabajos, así como su respectivo DOI: Estos artículos son algunos de los más impactantes en el campo del análisis del impacto de los laboratorios de física en el aprendizaje. Por lo tanto, un examen más a fondo será llevado a cabo en relación con los cinco artículos registrados con mayor cantidad de citas, con lo cual se realizará una mejor comprensión sobre los resultados obtenidos y su significado en relación con la literatura científica. Esta se enfocará en descomponer las metodologías que fueron utilizadas en la selección, los resultados que se alcanzaron y las posibles líneas de investigación futuras que estos estudios parecen indicar.

Tabla 1. Documentos encontrados en SCOPUS

N°	Título	Citas	DOI
1	Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses	181	10.1007/s10956-013-9438-8
2	Studying physics during the COVID-19 pandemic: Student assessments of learning achievement, perceived effectiveness of online recitations, and online laboratories	93	10.1063/1.478081

3	Measuring the impact of an instructional laboratory on the learning of introductory physics	86	10.1136/bmjstel-2015-000090
4	The impact of internet virtual physics laboratory instruction on the achievement in physics, science process skills and computer attitudes of 10th-grade students	84	10.1063/1.5096030
5	Open-ended versus guided laboratory activities: Impact on students' beliefs about experimental physics	77	10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020134
6	Using virtual laboratories in teaching natural sciences: An example of physics courses in university	71	10.1007/s10956-010-9257-0
7	Design and implementation of a virtual laboratory for physics subjects in moroccan universities	43	10.1007/s26826-010-9257-0
8	A self-guided algorithm for learning control of quantum-mechanical systems	40	10.1002/cae.21777
9	Middle school students' learning of mechanics concepts through engagement in different sequences of physical and virtual experiments	39	10.1007/s10956-007-9062-6
10	Qualitative investigation of students' views about experimental physics	29	10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.020132
11	An inquiry-based approach to laboratory experiences: Investigating students' ways of active learning	23	10.1007/s11218-015-9296-8
12	Characterizing science graduate teaching assistants' instructional practices in reformed laboratories and tutorials	21	10.1029/2021RG000744

En el primer artículo (Thees et al., 2020) de 181 citas se expone el impacto positivo del aprendizaje con sistemas de realidad aumentada (RA) en diversos escenarios de instrucción. Se afirma que, especialmente la combinación de componentes de aprendizaje reales y virtuales de acuerdo con principios de contigüidad espacial y temporal fomenta el aprendizaje y reduce el procesamiento



cognitivo extraño. Se aplica estos principios a un experimento de laboratorio de física que examina la conducción de calor en el que los estudiantes miden la temperatura a lo largo de varillas metálicas calentadas mediante una cámara termográfica. Sin embargo, la configuración tradicional genera un retraso entre la medición y la recepción de datos, y separa espacialmente las visualizaciones relevantes, lo que provoca procesos de búsqueda que consumen recursos. Utilizando gafas inteligentes transparentes, las pantallas tradicionales se transformaron en representaciones virtuales que se anclaron a los objetos correspondientes de la configuración experimental, lo que dio como resultado una vista AR integrada de datos en tiempo real. Se investigaron los flujos de trabajo de recopilación de datos tanto tradicionales como asistidos por AR en un estudio de campo con estudiantes universitarios (N=74) durante un curso de laboratorio graduado. El rendimiento y la carga cognitiva se evaluaron como variables dependientes. Aunque la condición AR no mostró una ganancia de aprendizaje en una prueba de conocimiento conceptual, reportaron una carga cognitiva extraña significativamente menor que la condición tradicional. Estos resultados contrastan con hallazgos recientes sobre AR y formatos integrados, pero revelan un impacto significativo en la investigación de la carga cognitiva.

En el segundo (Klein et al., 2022) artículo con 93 citas se menciona que tras la pandemia del COVID-19 varios cursos de física, incluidas conferencias, tutoriales y cursos de laboratorio, tuvieron que transferirse a formatos en línea, lo que resultó en una variedad de actividades simultáneas, asincrónicas y mixtas. Para investigar cómo los estudiantes de física percibieron el repentino cambio hacia el aprendizaje en línea, se desarrolla un cuestionario y recopilamos datos de N=578 estudiantes de física de cinco universidades de Alemania, Austria y Croacia. En este artículo se informa cómo se adaptaron las sesiones de resolución de problemas (recitados) y los laboratorios, cómo juzgan los estudiantes los diferentes formatos de los cursos y qué tan útiles y efectivos los percibieron. Los resultados se correlacionan con las calificaciones de autoeficacia de los estudiantes y otras medidas de comportamiento (como las habilidades de aprendizaje autorreguladas). Este estudio es de naturaleza descriptiva y se implementó un diseño de estudio de encuesta para examinar las relaciones entre las variables. Se encuentra que las buenas habilidades de comunicación ($r=0,48$, $p<0,001$) y habilidades de autoorganización ($r=0,63$, $p<0,001$) se correlacionan positivamente con el logro de aprendizaje percibido.



En el tercero (Wieman & Holmes, 2015) artículo con 86 citas se analiza el impacto de realizar un curso de laboratorio asociado en las puntuaciones de los exámenes finales en dos grandes cursos de introducción a la física. El desempeño entre los estudiantes que tomaron y no tomaron el curso de laboratorio se comparó utilizando preguntas del examen final de los cursos asociados que se relacionaban con conceptos de los cursos de laboratorio. La población de estudiantes que tomaron el laboratorio en cada caso fue algo diferente de aquellos que no se inscribieron en el curso de laboratorio en términos de antecedentes y especialidad. Esas diferencias se tuvieron en cuenta normalizando su desempeño en las preguntas relacionadas con el laboratorio con puntuaciones en las preguntas del examen que no involucraban material cubierto en el laboratorio. El beneficio promedio en preguntas relacionadas con el laboratorio para los estudiantes que tomaron el laboratorio, en ambos cursos, estuvo dentro del 0,6% del puntaje de los estudiantes que no lo hicieron, con una incertidumbre de menos del 2%. Este resultado plantea dudas sobre la eficacia de los laboratorios para apoyar el dominio del contenido de física.

En el cuarto artículo Yang & Heh (2007) con 84 citas se investiga y compara el impacto de la instrucción del Laboratorio Virtual de Física de Internet (IVPL) con la instrucción de laboratorio tradicional en el rendimiento académico de física, el desempeño de las habilidades de procesos científicos y las actitudes hacia la computadora de estudiantes de décimo grado. Ciento cincuenta estudiantes de cuatro clases de una escuela secundaria privada en el país de Taoyuan, Taiwán, República de China. fueron muestreados. Las cuatro clases contenían 75 estudiantes que se dividieron equitativamente en un grupo experimental y un grupo de control. Los resultados de la prueba previa indicaron que el rendimiento académico de los estudiantes de nivel inicial en física, sus habilidades de proceso científico y sus actitudes hacia la computadora fueron iguales para ambos grupos. En la prueba posterior, el grupo experimental logró puntuaciones medias significativamente más altas en rendimiento académico en física y habilidades de proceso científico. No hubo diferencias significativas en las actitudes hacia la computadora entre los grupos. Concluimos que el IVPL tenía potencial para ayudar a los estudiantes de décimo grado a mejorar su rendimiento académico en física y sus habilidades de proceso científico.

En el quinto artículo Wilcox & Lewandowski (2016) con 77 citas se investiga el impacto de las actividades abiertas en cursos de laboratorio de pregrado en las epistemologías y expectativas de los



estudiantes sobre la naturaleza de la física experimental, así como su confianza y afecto, según lo medido por la Encuesta de Actitudes de Aprendizaje sobre las Ciencias de Colorado para Física Experimental (CLASE E). Utilizando un conjunto de datos nacionales de respuestas de los estudiantes al E-CLASS, encontramos que la inclusión de algunas actividades de laboratorio abiertas en un curso de laboratorio se correlaciona con respuestas posteriores a la instrucción más expertas en relación con los cursos que incluyen solo actividades de laboratorio guiadas tradicionales. Este hallazgo se mantiene al examinar los puntajes de E-CLASS posteriores a la instrucción mientras se controla la variación asociada con los puntajes previos a la instrucción, el nivel del curso, la especialidad del estudiante y el género del estudiante.

CONCLUSIONES

El análisis bibliométrico del impacto de los laboratorios de física en el aprendizaje ha revelado varias tendencias importantes y áreas de enfoque en la investigación reciente. En primer lugar, el creciente número de publicaciones desde 2013 refleja un interés sostenido y en aumento sobre el papel de los laboratorios en la educación, lo que sugiere que tanto los avances tecnológicos como los cambios en los métodos pedagógicos han impulsado esta expansión. Es así como en el contexto de la RA, lo cual fue discutido en el artículo más citado de Thees et al. (2020) se pone de relieve el impacto que innovaciones tecnológicas pueden tener sobre aspectos de la experiencia de enseñanza-aprendizaje y procesamiento de información online asociado a la disminución de la carga neurocognitiva y optimización del procesamiento

Los cinco artículos más citados sobre el impacto de los laboratorios de física resaltan la diversidad de enfoques en la enseñanza, desde la implementación de tecnologías emergentes como la realidad aumentada y laboratorios virtuales, hasta la comparación de laboratorios guiados y actividades abiertas. Aunque los resultados varían, en general, se observa que el uso de tecnologías innovadoras y metodologías más flexibles puede mejorar la experiencia de aprendizaje y las habilidades científicas de los estudiantes. Sin embargo, la efectividad de los laboratorios en el dominio conceptual aún presenta interrogantes, lo que sugiere la necesidad de investigaciones adicionales para optimizar su implementación

Es relevante señalar el predominio de instituciones y autores de los Estados Unidos en la producción de estudios científicos sobre este tema, tal predominio sugiere que los Estados Unidos están liderando no sólo los esfuerzos en el campo de la educación física, sino también el desarrollo de laboratorios también. Sin embargo, Australia no es el único país en contribuir y algunos países europeos y varias universidades de Asia también se suman con una contribución importante, lo que podría llevar a una mayor diversificación en el futuro.

En conclusión, los laboratorios de física con y sin tecnología, siguen siendo una herramienta importante en la enseñanza. Sin embargo, los hallazgos no son consistentes, lo que sugiere que aún queda trabajo por hacer para comprender mejor cómo se pueden diseñar e implementar estas experiencias educativas para mejorar el aprendizaje conceptual y al mismo tiempo minimizar la carga cognitiva para los estudiantes. Innovaciones como RA ofrecen importantes promesas; sin embargo, se requiere un mayor crecimiento y validación empírica para apreciar plenamente su eficacia..

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akingbola, O. G., Abiodun, P. O., Owolabi, O. A., Efe, F., & Abedoh, H. (2024). Engaging University Students in Practical Physics Labs through Motivational Active Learning. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*.
- Arymbekov, B., Turekhanova, K., & Turdalyuly, M. (2024). The Effect of Augmented Reality (AR) Supported Teaching Activities on Academic Success and Motivation to Learn Nuclear Physics among High School Pupils. *International Journal of Information and Education Technology*, 14(5), 743–760. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2024.14.5.2099>
- Crouch, C. H., Wisittanawat, P., Cai, M., & Renninger, K. A. (2018). Life science students' attitudes, interest, and performance in introductory physics for life sciences: An exploratory study. *Physical Review Physics Education Research*, 14(1).
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010111>
- Daaif, J., Tridane, A., El Wafiq, M., Tridane, M., & Belaaouad, S. (2024). Perception of the use of an e-lab platform for university students during the COVID-19 pandemic. *International Journal of Education and Practice*, 12(3), 932–952. <https://doi.org/10.18488/61.v12i3.3814>



Juhásová, A., & Kireš, M. (2024). Developing the experimental skills of pre-service physics teachers.

Journal of Physics: Conference Series, 2715(1).

<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2715/1/012021>

Klein, P., Ivanjek, L., Dahlkemper, M. N., Jeličić, K., Geyer, M.-A., Küchemann, S., & Susac, A.

(2022). Studying physics during the COVID-19 pandemic: Student assessments of learning achievement, perceived effectiveness of online recitations, and online laboratories. *Physical Review Physics Education Research*, 17(1).

<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.010117>

Krupczak Jr., J., Bair, N., Benson, T., Berke, P., Corlew, D., Lantz, K., Lappenga, D., Scholtens, M., &

Woessner, D. (2000). Hands-on laboratory projects for non-science majors: Learning principles of physics in the context of everyday technology. ASEE Annual Conference Proceedings, 3047–3055.

Loeffler, H. H., Wan, S., Klähn, M., Bhati, A. P., & Coveney, P. V. (2024). Optimal Molecular Design:

Generative Active Learning Combining REINVENT with Precise Binding Free Energy Ranking Simulations. *Journal of Chemical Theory and Computation*.

<https://doi.org/10.1021/acs.jctc.4c00576>

Ruiz-Tipán, F., & Valenzuela, A. (2021). Literary review of economic environmental dispatch

considering bibliometric analysis. *Iteckne*.

<https://doi.org/https://doi.org/10.15332/iteckne.v19i1.2631>

Sakibayeva, B., & Sakibayev, S. (2024). Formation of students' research skills and abilities with the

help of Mobile Learning in the course of general physics | Формування дослідницьких умінь і навичок студентів засобами мобільного навчання в курсі загальної фізики. *Scientific Herald of Uzhhorod University. Series Physics*, 55, 2567–2575.

<https://doi.org/10.54919/physics/55.2024.256ma7>

Semerikov, S. O., & Striuk, A. M. (2024). Embracing Emerging Technologies: Insights from the 6th

Workshop for Young Scientists in Computer Science & Software Engineering. *CEUR Workshop Proceedings*, 3662, 1–36.



- Thees, M., Kapp, S., Strzys, M. P., Beil, F., Lukowicz, P., & Kuhn, J. (2020). Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. *Computers in Human Behavior*, 108. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106316>
- Werth, A., West, C. G., & Lewandowski, H. J. (2022). Impacts on student learning, confidence, and affect and in a remote, large-enrollment, course-based undergraduate research experience in physics. *Physical Review Physics Education Research*, 18(1).
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010129>
- Wieman, C., & Holmes, N. G. (2015). Measuring the impact of an instructional laboratory on the learning of introductory physics. *American Journal of Physics*, 83(11), 972–978.
<https://doi.org/10.1119/1.4931717>
- Wilcox, B. R., & Lewandowski, H. J. (2016). Open-ended versus guided laboratory activities: Impact on students' beliefs about experimental physics. *Physical Review Physics Education Research*, 12(2). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.020132>
- Yang, K.-Y., & Heh, J.-S. (2007). The impact of internet virtual physics laboratory instruction on the achievement in physics, science process skills and computer attitudes of 10th-grade students. *Journal of Science Education and Technology*, 16(5), 451–461.
<https://doi.org/10.1007/s10956-007-9062-6>

