

Tendencias emergentes en realidad virtual para el aprendizaje de Química, Biología y Ciencias Ambientales: un enfoque bibliométrico

Emerging trends in virtual reality for learning in Chemistry, Biology and Environmental Sciences: a bibliometric approach

Celso Vladimir Benavides Enríquez*

Universidad Nacional de Chimborazo.
Riobamba-Ecuador.
cbenavides@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5093-0140>

Estefanía Nataly Quiroz Carrión

Universidad Nacional de Chimborazo.
Riobamba-Ecuador.
estefania.quiroz@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0328-4382>

Paulina Fernanda Parra Alvarez

Universidad Nacional de Chimborazo.
Riobamba-Ecuador.
pparra@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1429-0454>

Carmen Viviana Basantes Vaca

Universidad Nacional de Chimborazo.
Riobamba-Ecuador.
carmen.basantes@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3447-3370>

*Correspondencia:

cbenavides@unach.edu.ec

Cómo citar este artículo:

Benavides, C., Quiroz, E., Parra, P., & Basantes, C. (2025). Tendencias emergentes en realidad virtual para el aprendizaje de Química, Biología y Ciencias Ambientales: un enfoque bibliométrico. *Esprint Investigación*, 4(1), 364-384.
<https://doi.org/10.61347/ei.v4i1.117>

Recibido: 16 de marzo de 2025

Aceptado: 15 de abril de 2025

Publicado: 21 de abril de 2025

Copyright: Derechos de autor 2025 Celso Vladimir Benavides Enríquez, Estefanía Nataly Quiroz Carrión, Paulina Fernanda Parra Alvarez, Carmen Viviana Basantes Vaca.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NonComercial 4.0.

Resumen: La Realidad Virtual (RV) constituye una herramienta innovadora en la educación, al facilitar experiencias inmersivas que optimizan la comprensión de conceptos abstractos. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo analizar las tendencias de investigación en el uso de la RV para la enseñanza de Química, Biología y Ciencias Ambientales mediante un enfoque bibliométrico. Para ello, se llevó a cabo un análisis bibliométrico basado en los estudios extraídos de la base de datos Scopus, utilizando la herramienta Bibliometrix, además de su interfaz web Biblioshiny, una solución robusta que facilita la creación de reportes visuales relevantes. La búsqueda se limitó a términos específicos relacionados con la educación en ciencias y la RV; se obtuvo un total de 256 documentos. Los resultados muestran un crecimiento relativo en la producción científica desde 2016, con un incremento significativo en 2024. Se identificaron los principales autores, instituciones y países que lideran la investigación en esta área, donde destacan Estados Unidos y China como actores claves. Además, el análisis de co-ocurrencia de palabras clave reveló que las líneas de investigación emergentes se centran en la integración de la RV con la gamificación, el aprendizaje inmersivo y la educación STEM. Este estudio proporciona una visión integral del panorama actual de la investigación en RV aplicada a la enseñanza de ciencias, destacando su evolución, actores principales y direcciones futuras, con el objetivo de contribuir al diseño de estrategias educativas innovadoras.

Palabras clave: Análisis bibliométrico, aprendizaje inmersivo, ciencias, educación, realidad virtual.

Abstract: Virtual Reality (VR) has emerged as an innovative tool in education, facilitating immersive experiences that enhance the understanding of abstract concepts. In this context, the present study aims to analyze research trends in the use of VR for teaching Chemistry, Biology and Environmental Sciences through a bibliometric approach. In this context, the present study aims to analyze research trends in the use of VR for teaching Chemistry, Biology and Environmental Sciences using a bibliometric approach. For this purpose, a bibliometric analysis was carried out based on studies extracted from the Scopus database, using the Bibliometrix tool, in addition to its web interface Biblioshiny, a robust solution that facilitates the creation of relevant visual reports. The search was limited to specific terms related to science education and VR, yielding a total of 256 documents. The results show an exponential growth in scientific output since 2016, with a significant increase in 2024. The main authors, institutions and countries leading research in this area were identified, highlighting the United States and China as key players. In addition, keyword co-occurrence analysis revealed that emerging lines of research focus on VR integration with gamification, immersive learning and STEM education. This study provides a comprehensive overview of the current landscape of VR research applied to science education, highlighting its evolution, key players and future directions, with the aim of contributing to the design of innovative educational strategies.

Keywords: Bibliometric analysis, education, immersive learning, science, virtual reality.

1. Introducción

La Realidad Virtual (RV) constituye una de las tecnologías más innovadoras en el ámbito educativo, al proporcionar entornos inmersivos y experiencias interactivas que transforman los procesos de enseñanza y aprendizaje. En particular, la aplicación de la RV en las ciencias naturales, como la química, la biología y las ciencias ambientales, ha demostrado un alto potencial para superar barreras tradicionales asociadas al aprendizaje abstracto, la falta de acceso a laboratorios y la necesidad de visualizar conceptos complejos en tiempo real.

De acuerdo con Marougkas et al. (2023), la RV es una tecnología emergente que ofrece una simulación generada por computadora de un entorno con el que se puede interactuar de manera aparente en tiempo real. Esta tecnología ha sido ampliamente investigada en muchos campos como el deporte, el turismo, las tiendas virtuales, la asistencia médica (desde la simulación quirúrgica hasta las aplicaciones de enfermería), el ejercicio para la simulación de vuelo y el entrenamiento, y, por supuesto, en la educación (Rojas-Sánchez et al., 2023).

El aprendizaje de las ciencias no siempre se puede implementar plenamente en las aulas, por lo que puede ser útil analizar otras opciones (Folgado-Fernández et al., 2020). En este contexto, los avances tecnológicos influyen significativamente en el panorama educativo, al impulsar las metodologías de enseñanza tradicionales hacia experiencias de aprendizaje inmersivas e interactivas (Almufarreh & Arshad, 2023). Las tecnologías transformadoras como la Realidad Aumentada (RA) y la RV están a la vanguardia, lo que indica una nueva época dentro del campo (Muñoz-Saavedra et al., 2020).

Según AlGerafi et al. (2023), la RV en educación se refiere al uso de entornos digitales inmersivos y simulaciones para mejorar las experiencias de enseñanza y aprendizaje. Esto permite a los estudiantes interactuar con el conocimiento educativo de una manera más interactiva y experimental, yendo más allá de los métodos tradicionales de instrucción. Las aplicaciones en educación se pueden encontrar enfocadas en la geografía, las ciencias naturales, las matemáticas, la robótica, la seguridad en la construcción, la formación y la evaluación médica, la educación física, entre muchas otras (Rojas-Sánchez et al., 2023).

La RV tiene la capacidad de revolucionar la experiencia de aprendizaje de los estudiantes a través de encuentros inmersivos y cautivadores que pueden mejorar la comprensión de un tema (Freina & Ott, 2023). Por ejemplo, el estudio de Paszkiewicz et al. (2021) presenta un enfoque basado en el uso de la RV en el proceso educativo para las necesidades de la industria 4.0. Los autores proponen una metodología integral que incluye el diseño, creación, implementación y evaluación de un curso de formación en el ámbito de las actividades de extinción de incendios que deben realizarse durante el peligro derivado del funcionamiento de una máquina de producción. El estudio mostró el potencial de la formación basada en un entorno virtual para mejorar las habilidades y conocimientos de los participantes.

En tanto, Wang et al. (2022) construyen una aplicación de RV que se ejecuta en un auricular independiente y que permite a los pacientes ver una simulación virtual de sí mismos mediante radioterapia. El objetivo de este estudio retrospectivo fue determinar si el hecho de mostrar a los pacientes su plan de radioterapia en RV mejora la educación y reduce la ansiedad sobre el tratamiento. Se proporcionaron cuestionarios antes y después del tratamiento y como resultados determinaron que el 74 % de los pacientes estaba totalmente de acuerdo en que la sesión de RV les proporcionó una mejor comprensión de cómo se utilizará la radioterapia para tratar su cáncer, informando que la experiencia personalizada fue educativa y puede reducir la ansiedad.

Di Lanzo et al. (2020) ejecutan una revisión de los usos de la RV en la enseñanza de la ingeniería con el objetivo de proporcionar una visión general y una síntesis. Por lo tanto, dicho análisis sistemático exploró artículos de revistas y actas de conferencias publicadas en las bases de datos IEEE Xplore y Scopus durante el periodo 2015 y 2019. En resumen, se incluyeron 17 estudios y los hallazgos indican un incremento en el uso de entornos de aula virtual como complemento a los entornos de enseñanza tradicionales, así como beneficios sustanciales reportados para los resultados de aprendizaje cognitivos y basados en habilidades. Sin embargo, aclara que los académicos y educadores dentro del dominio de la educación en ingeniería deben continuar investigando los usos y méritos de los entornos de RV como herramientas pedagógicas.

Con un enfoque más centrado en el tema de estudio, Rojas-Sánchez et al. (2023) realizan una revisión sistemática de la literatura y un análisis bibliométrico sobre la RV en la educación. Su objetivo fue identificar y analizar la literatura científica mediante bibliometría para encontrar los principales temas, autores, fuentes, artículos más citados y países en la literatura sobre el tema. Otro propósito fue comprender la estructura conceptual, intelectual y social de la literatura e identificar la base de conocimiento del uso de la RV en la educación y si es comúnmente utilizada e integrada en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Los autores destacan que la RV se utiliza en muchas áreas diferentes de la educación, pero hasta el inicio de la pandemia el uso de este llamado “proceso disruptivo” provenía principalmente de los estudiantes, ya que las instituciones se mostraron reacias y lentas a aceptar e incluir la RV en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

De igual manera, Amarulloh & Aswie (2024) realizan un análisis bibliométrico sobre el uso de la RV en la enseñanza de las ciencias a lo largo de las tres décadas (1993-2023). El método involucró datos de publicaciones indexadas en Google Scholar usando Publish or Perish con palabras clave relacionadas con “realidad virtual” y “educación”, donde se obtuvieron 986 publicaciones. Se destacó el alto nivel de colaboración en los autores dentro de la revisión, pero se enfatizó sobre la necesidad de mejorar la investigación en RV enfocándose en el área de la educación en ciencias y su impacto en la alfabetización científica de los estudiantes.

Por ende, en comparación con la educación tradicional, la capacitación virtual basada en simulación proporciona seguridad, ahorro de costos y eficiencia, debido a que se requiere menor tiempo para la capacitación (Shen et al., 2019). Debido a ello, el creciente interés por la aplicación de la RV en el aprendizaje ha generado un volumen considerable de investigaciones, lo que requiere una evaluación sistemática para identificar las principales tendencias, vacíos de conocimiento y oportunidades futuras. Los estudios bibliométricos constituyen una herramienta esencial para analizar el panorama de la investigación científica, pues identifican patrones de publicación, redes de colaboración y áreas temáticas emergentes.

En este contexto, el presente estudio analiza las tendencias de investigación en el uso de la RV para la enseñanza de química, biología y ciencias ambientales mediante un enfoque bibliométrico. Este análisis permitirá comprender la evolución de la literatura en este campo, identificar a los principales actores académicos e instituciones involucradas, y explorar las líneas de investigación emergentes que configuran el futuro de la educación inmersiva. Con ello, se espera proporcionar una visión integral sobre el panorama actual y contribuir al diseño de estrategias educativas basadas en RV que potencien el aprendizaje y promuevan la innovación pedagógica.

2. Metodología

El desarrollo metodológico de la presente investigación se llevó a cabo mediante métodos bibliométricos, los cuales permiten determinar la interrelación entre documentos, disciplinas, campos e individuos frente a un tema (Ramos-Enríquez et al., 2021). Los datos fueron extraídos de Scopus, una base de datos multidisciplinar de amplio reconocimiento y validez (Pranckutė, 2021). Actualmente, Scopus tiene una cobertura más amplia de la literatura académica, tiene mayor índice de citas con control de calidad y también cubre sustancialmente muchos años, por lo que es una opción lógica para investigaciones a largo plazo (Thelwall & Sud, 2022). Los parámetros empleados para la búsqueda se detallan en la tabla 1.

Tabla 1

Criterio y resultados de búsqueda

Parámetros	Criterio
Base de datos	Scopus
Espacio de tiempo	No se especifica un período de búsqueda
Fecha de consulta	24/01/2025
Campo de búsqueda	Título, resumen y palabras clave
Cadena de búsqueda	TITLE (("Virtual Reality" OR "VR" OR "immersive virtual reality" OR "iVR") AND ("learning" OR "learn" OR "education" OR "apprenticeship" OR "pedagogy" OR "instruction")) AND TITLE-ABS-KEY ("Chemistry" OR "biology" OR "environmental sciences" OR "natural sciences" OR "science education" OR "scientific education")
Número de documentos	256

La metodología bibliométrica encapsula la aplicación de técnicas cuantitativas sobre datos bibliométricos (Donthu et al., 2021). La evaluación objetiva de la literatura científica a través de un enfoque cuantitativo permite una revisión bibliográfica transparente, sistemática y reproducible (Büyükkıdık, 2022), lo que proporciona rigor, objetividad y disminuye el sesgo de los investigadores (Duque & Oliva, 2022).

Se utilizó el paquete de código abierto Bibliometrix, desarrollado en R y propuesto por Aria & Cuccurullo (2017) para realizar análisis bibliométricos completos. Además, Biblioshiny facilitó la investigación cuantitativa al ofrecer herramientas completas para convertir datos bibliográficos en información interpretable (Vătămănescu et al., 2024). Por lo tanto, debido a la compatibilidad con diferentes bases de datos y las múltiples funciones analíticas, esta herramienta ha sido empleada en múltiples investigaciones (Au-Yong-Oliveira et al., 2022; Figueredo et al., 2020; García-Alcaraz et al., 2024; Iscaro et al., 2021; Li et al., 2024a; Li et al., 2024b; Ragazou et al., 2023).

3. Resultados

Existe un interés creciente en evaluar objetivamente la contribución efectiva de un investigador o de un grupo de investigación para saber cuál es realmente su impacto científico (García-Villar & García-Santos, 2021). Indicadores como el número total de publicaciones permiten identificar la cantidad de artículos producidos por un autor o grupo. La identificación de la producción científica anual es crucial

para evaluar el volumen de investigación generada en un período específico. Este análisis no solo es esencial para medir el rendimiento, sino para identificar tendencias emergentes (De Filippo & Fernández, 2002). En este contexto, la figura 1 presenta un análisis detallado de la producción científica y revela una evolución marcada por tres fases: baja producción, crecimiento moderado y expansión exponencial en los últimos años.

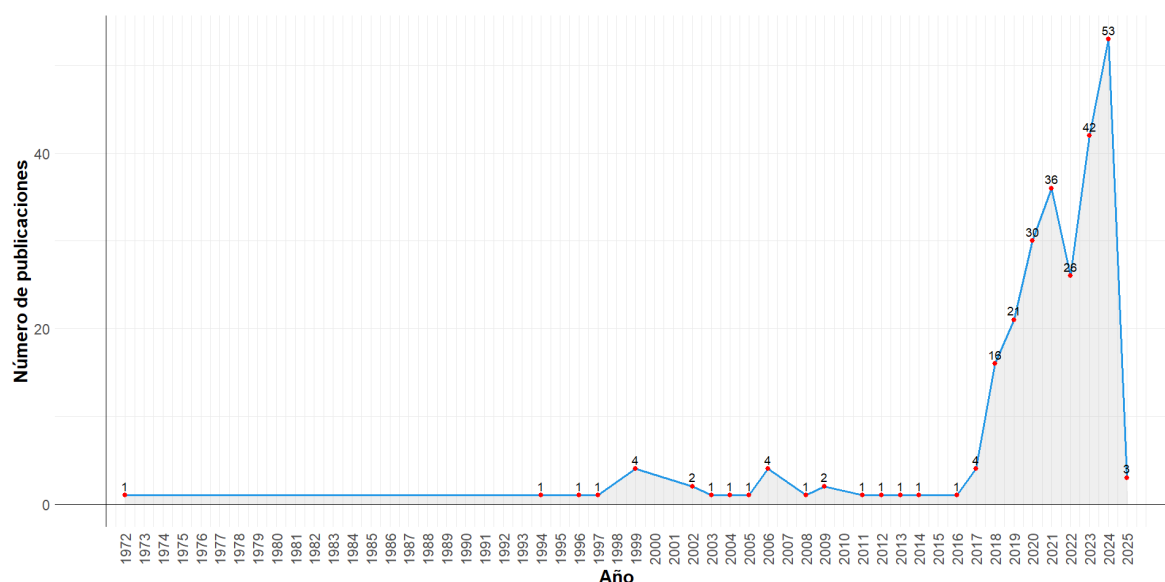
Desde 1972 hasta aproximadamente 2016, la cantidad de publicaciones en este campo se mantuvo en niveles muy bajos, con solo algunas publicaciones esporádicas que oscilan entre 1 a 4 en determinados años. Durante este período, la RV en el ámbito educativo era un área incipiente, con poco interés o capacidad tecnológica para su implementación efectiva en la enseñanza de estas ciencias.

En 2017 se observa un cambio significativo en esta tendencia, evidenciado por un aumento gradual en el número de publicaciones, lo que refleja un creciente interés en la RV como herramienta educativa, posiblemente impulsado por avances tecnológicos y una mayor accesibilidad a hardware y software de RV.

Desde 2018 en adelante, el crecimiento de la producción científica se vuelve exponencial, alcanzando su punto máximo en 2024 con 53 publicaciones. Este período representa una consolidación del interés académico en el tema, reflejado por un aumento constante en las contribuciones científicas. La evolución observada sugiere que la RV ha adquirido un papel relevante en la enseñanza de Química, Biología y Ciencias Ambientales durante los últimos años. Este auge puede estar relacionado con el perfeccionamiento de la tecnología y el desarrollo de nuevas aplicaciones pedagógicas, así como un creciente cuerpo de evidencia científica que respalda su efectividad en el aprendizaje.

Figura 1

Producción científica anual



Para complementar este análisis global sobre la evolución temática a lo largo del tiempo, la figura 2 facilita la identificación de temas que han sido tendencia dentro del campo e ilustra su carácter interdisciplinario. Se pueden distinguir términos emergentes junto con aquellos que han mantenido presencia constante en la literatura.

Los términos “virtual reality” y “VR” destacan particularmente por su frecuencia y persistencia en el tiempo, especialmente a partir de 2021. La RV ha sido un tema central dentro de la investigación educativa en ciencias. Además, términos relacionados como “immersive virtual reality” e “immersive

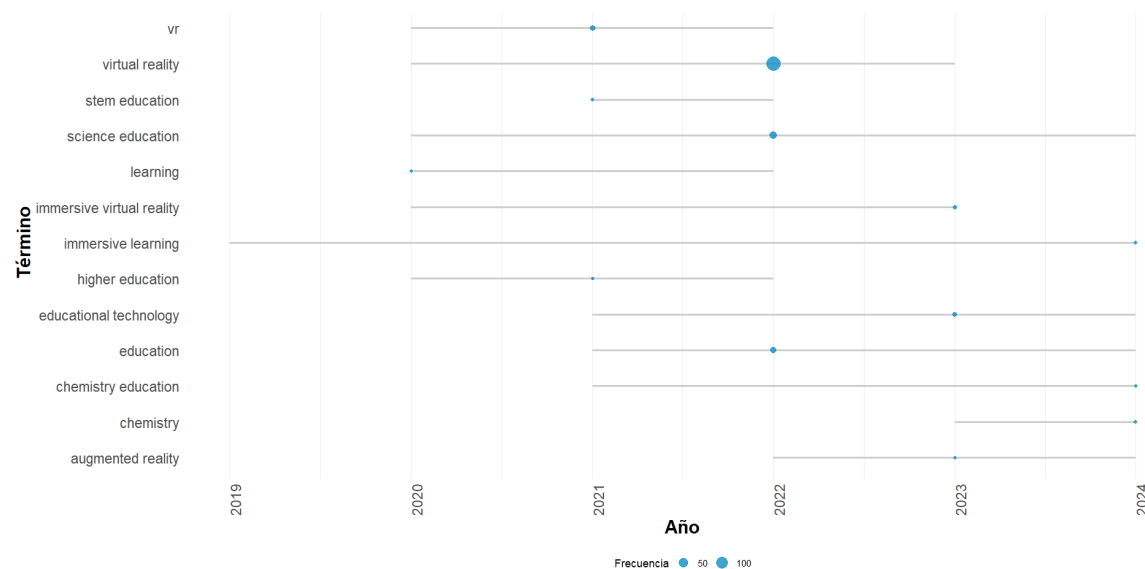
learning” han comenzado a ganar relevancia recientemente; esto indica una creciente atención hacia experiencias de aprendizaje inmersivas como evolución dentro del campo.

Asimismo, términos recurrentes se vinculan con la educación en ciencias como “STEM education”, “science education” y “chemistry education”, y sugieren un interés sostenido por aplicar la RV a disciplinas científicas específicas. La relevancia creciente observada principalmente entre 2021 y 2022 indica que este enfoque ha cobrado mayor fuerza durante esta última etapa evolutiva.

Por otro lado, sintagmas como “higher education” y “educational technology” reflejan una conexión entre RV y su implementación en la educación superior; estos términos aparecen en distintos momentos del período analizado, sugiriendo una integración progresiva de tecnología educativa dentro del ámbito académico.

Figura 2

Tendencias anuales



El índice h, propuesto por Hirsh en 2005, se ha consolidado como uno de los indicadores de productividad de autores más reconocido y se utiliza ampliamente para estimar el éxito del trabajo realizado por un investigador, así como para predecir el impacto futuro de su producción (Dorta-González & Dorta-González, 2010). La tabla 2 proporciona un análisis detallado de los principales autores referentes en este campo, identificados en función del número de publicaciones, su porcentaje relativo respecto al total de estudios analizados, el número de citas acumuladas y su índice h. Esta información permite evaluar su impacto en la comunidad científica.

Entre los autores con mayor número de publicaciones destaca Dengel A., quien ha contribuido con cinco trabajos y presenta un índice h de 3, lo que sugiere una contribución significativa en el área. Otros autores con cuatro publicaciones incluyen a Apandi N., Christopoulos A., Jong M. Y., Mokmin N. y Tsai C. C., quienes muestran variaciones en el número de citas recibidas. En particular, Jong M. Y. se distingue por haber acumulado 302 citas, lo que indica un alto impacto y reconocimiento de sus investigaciones. De manera similar, Tsai C. C. ha recibido 131 citas, mientras que Christopoulos A. cuenta con 81.

Por otro lado, algunos investigadores con menor cantidad de publicaciones han recibido un número significativo de citas. Chang S. C. y Hsu T. C., con tres publicaciones cada uno, han sido citados en 286 ocasiones, lo que resalta su influencia en la literatura científica. En contraste, otros autores como Chen

Z., Heinemann B. y Apandi N., a pesar de contar con al menos tres publicaciones, presentan un número reducido de citas y un índice h bajo. Esto podría indicar una menor difusión o un impacto más reciente de sus estudios.

Tabla 2

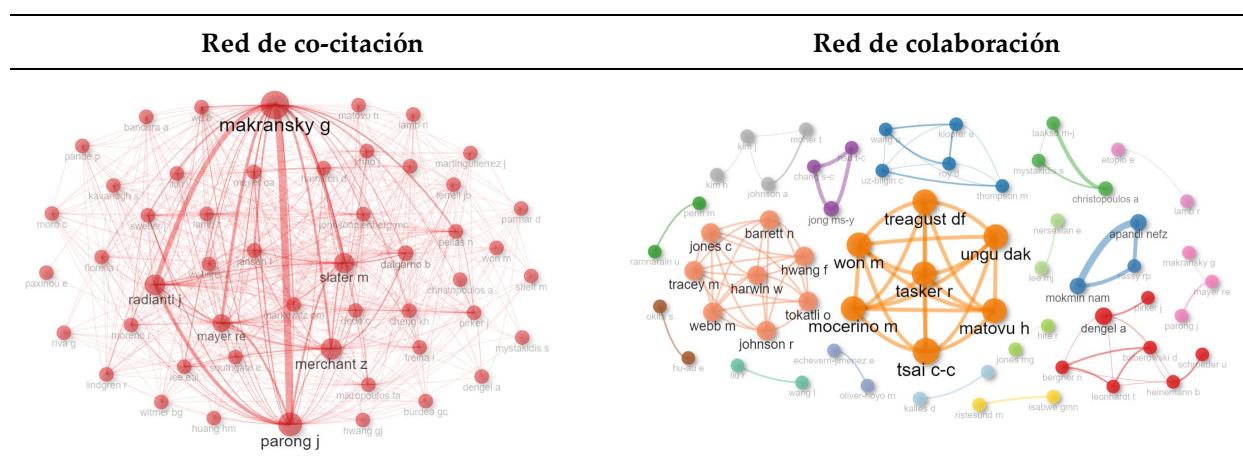
Autores más destacados

Autor	Publicaciones	% del total	Citas totales	h-index
Dengel A.	5	1.95	110	3
Apandi N.	4	1.56	3	1
Christopoulos A.	4	1.56	81	3
Jong M. Y.	4	1.56	302	4
Mokmin N.	4	1.56	3	1
Tsai C. C.	4	1.56	131	2
Chang S. C.	3	1.17	286	3
Chen Z.	3	1.17	2	1
Heinemann B.	3	1.17	2	1
Hsu T. C.	3	1.17	286	3

El análisis de co-citación es una técnica para el mapeo de la ciencia que asume que las publicaciones que son citadas juntas con frecuencia son temáticamente similares (Hjørland, 2013). Esta metodología puede utilizarse para revelar la estructura intelectual de un campo de investigación (Donthu et al., 2021). El análisis de las redes de co-citación y colaboración (ver figura 3) refleja la interconexión entre investigadores y sus influencias en la literatura científica.

Figura 3

Red de autores destacados



En la red de co-citación, los autores más influyentes incluyen a Makransky G., Radianti J., Mayer R. E., Merchant Z., Slater M. y Parong J., quienes presentan una alta frecuencia de co-citación y conexiones con múltiples investigadores. Este patrón sugiere que sus estudios han sido referenciados en conjunto en diversas publicaciones, indicando su relevancia en la literatura. Makransky G. emerge como el nodo más prominente, lo que indica que sus investigaciones han sido altamente citadas y utilizadas como

referencia en múltiples estudios relacionados con la educación inmersiva y la RV. Otros autores como Radianti J. y Mayer R. E. también tienen un papel central en la red, sugiriendo que sus contribuciones han sido fundamentales para la evolución del campo.

Además, la red de colaboración muestra los grupos de investigadores que han trabajado conjuntamente en publicaciones científicas. Se identifican varios clústeres de colaboración, destacando un grupo conformado por Treagust D. F., Tsai C. C., Tasker, Mocerino M., Matovu H. y Ungu D., quienes han trabajado estrechamente en estudios sobre educación inmersiva. La presencia de Tsai C. C., quien también aparece en la tabla de autores con publicaciones relevantes, refuerza su importancia en el área. Además, se observan otras agrupaciones con autores como Christopoulos A., Apandi N., Mokmin N. y Dengel A., quienes han establecido conexiones colaborativas significativas para el desarrollo del conocimiento en esta temática.

Resulta relevante identificar las instituciones líderes en investigación por razones que impactan tanto en la evaluación de la producción científica como en la formulación de políticas de investigación. La tabla 3 presenta las principales revistas que han tenido un impacto significativo en la investigación. Estas instituciones constituyen fuentes claves dentro del ámbito académico y permiten trazar un panorama sobre la evolución del conocimiento en esta disciplina.

En primer lugar, *Journal of Chemical Education* se destaca como la fuente con mayor número de publicaciones (10) y un total de 175 citas, lo que evidencia su relevancia en la difusión de estudios relacionados con la enseñanza de la química. Por otro lado, *Lecture Notes in Computer Science*, publicada en Alemania, también destaca con 9 publicaciones y 34 citas. Este tipo de revista indica una fuerte presencia de investigaciones con un enfoque computacional, lo que puede estar vinculado al desarrollo de herramientas tecnológicas para la enseñanza de ciencias mediante RV. De manera similar, *Communications in Computer and Information Science* aparece con 7 publicaciones y 32 citas; esto reafirma la importancia del ámbito informático en el diseño de entornos educativos inmersivos.

Tabla 3

Instituciones destacadas

Institución	Publicaciones	Citas totales	País
<i>Journal of Chemical Education</i>	10	175	Estados Unidos
<i>Lecture Notes in Computer Science</i>	9	34	Alemania
<i>Communications in Computer and Information Science</i>	7	32	Alemania
<i>Journal of Science Education and Technology</i>	7	127	Estados Unidos
<i>ACM International Conference Proceeding Series</i>	6	12	Estados Unidos
<i>British Journal of Educational Technology</i>	6	630	Reino Unido
<i>Computers and Education</i>	5	442	Reino Unido
<i>Education and Information Technologies</i>	4	46	Estados Unidos
<i>Electronics</i>	4	50	Suiza
<i>Education Sciences</i>	3	62	Suiza

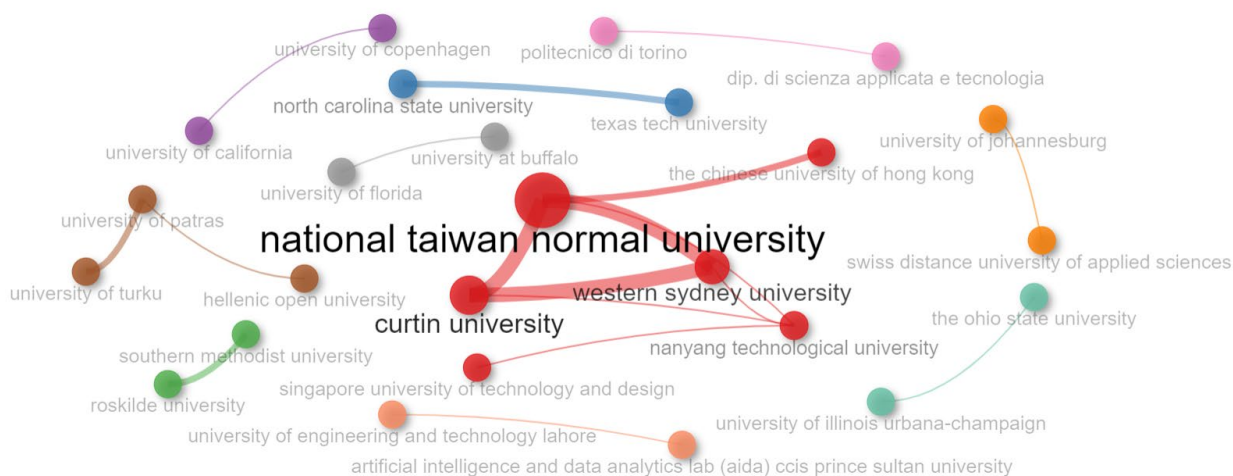
Asimismo, *Journal of Science Education and Technology*, con 7 publicaciones y 127 citas, representa otra fuente esencial en la investigación sobre innovación tecnológica en la enseñanza de las ciencias. Otros actores influyentes incluyen a *ACM International Conference Proceeding Series*, que registra 6 publicaciones, así como *British Journal of Educational Technology*, también con 6 publicaciones, pero destacándose con 630 citas. Finalmente, revistas como *Computers and Education*, *Education and Information Technologies* y *Electronics (Switzerland)* reflejan el interés creciente por integrar herramientas digitales en enseñanza. La considerable cantidad de publicaciones en estos medios sugiere que las investigaciones en el campo de la educación inmersiva están evolucionando hacia un enfoque interdisciplinario, donde la informática, la educación y la ciencia convergen para el desarrollo de estrategias innovadoras de enseñanza.

En el análisis sobre la colaboración entre instituciones académicas (ver figura 4), se observa que National Taiwan Normal University es líder central dentro de la red, estableciendo conexiones significativas con diversas universidades alrededor del mundo. Esta posición central indica que la institución no solo es un actor influyente en la investigación sobre educación inmersiva, sino que facilita la cooperación internacional en el desarrollo de nuevas tecnologías y metodologías de enseñanza. Entre sus principales socios figuran Curtin University y Western Sydney University, ambas reconocidas por su notable historial en innovación educativa y tecnología aplicada al aprendizaje. Además, Nanyang Technological University se encuentra dentro de este núcleo de cooperación, esto refuerza aún más cómo investigación trasciende fronteras apoyándose mutuamente entre expertos internacionales dedicados a educación tecnológica.

Además del liderazgo mencionado anteriormente otras agrupaciones universitarias desarrollan colaboraciones específicas. Por ejemplo, North Carolina State University y Texas Tech University forman parte de un subgrupo conectado, mediante esfuerzos conjuntos hacia el desarrollo de herramientas tecnológicas para el aprendizaje efectivo. De manera similar, universidades europeas como University of Patras, University of Turku y Hellenic Open University muestran interacciones enfocadas al análisis pedagógico innovador.

Figura 4

Red de colaboración entre instituciones



Un aspecto relevante es también la participación de instituciones con un enfoque en inteligencia artificial (IA) y análisis de datos, como el Artificial Intelligence and Data Analytics Lab (AIDA). La presencia de este tipo de instituciones refuerza la idea de que la RV en la educación no solo es un tema de interés para pedagogos y científicos, sino para investigadores en IA y procesamiento de datos,

quienes buscan optimizar las experiencias de aprendizaje mediante herramientas tecnológicas avanzadas.

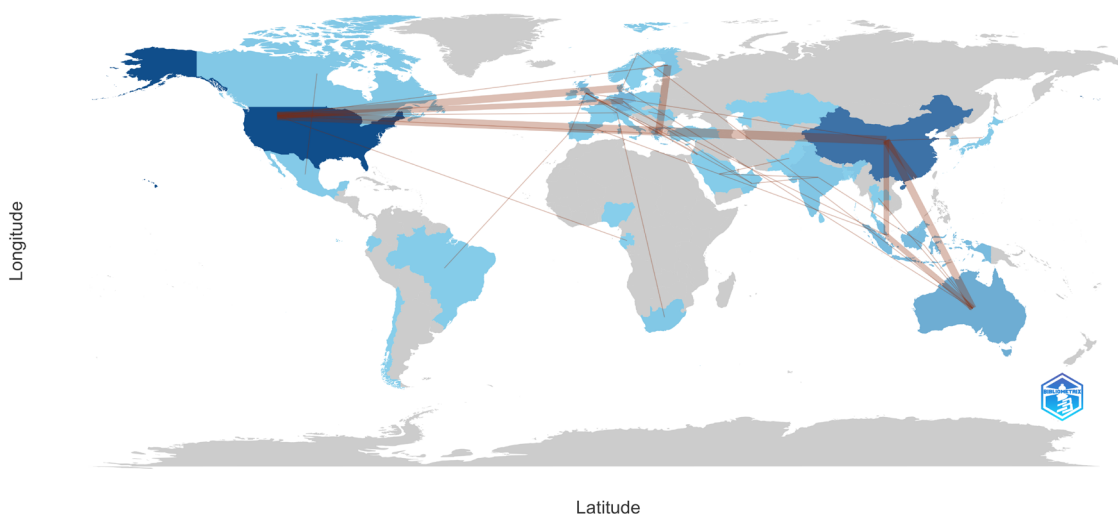
La figura 5 muestra el mapa de colaboración entre países. Se observa que Estados Unidos y China son los principales actores en esta red, estableciendo múltiples conexiones con otros países, lo que refuerza su papel como líderes en la investigación y desarrollo de tecnologías educativas inmersivas. De igual manera, la colaboración entre Estados Unidos y China es la más destacada, evidenciando un intercambio significativo de conocimientos y recursos en el diseño y aplicación de entornos de aprendizaje basados en RV.

Además, China ha establecido asociaciones claves con Australia, Hong Kong y Singapur. La conexión entre China y Australia refleja la creciente inversión en educación digital y la implementación de tecnologías emergentes en el ámbito educativo, mientras que la relación con Hong Kong y Singapur destaca la importancia de estas regiones como centros de innovación tecnológica en Asia. Estas colaboraciones sugieren un enfoque conjunto en la exploración de nuevas metodologías para la enseñanza de ciencias mediante herramientas inmersivas.

En el ámbito transatlántico, la relación entre Estados Unidos y Alemania evidencia la cooperación entre dos de las economías más avanzadas en términos de tecnología educativa. La participación de Dinamarca en colaboración con Estados Unidos refuerza la influencia de los países escandinavos en la innovación educativa, especialmente en la implementación de nuevas tecnologías en el aprendizaje.

Figura 5

Mapa de colaboración entre países



En bibliometría, el análisis de co-ocurrencia se centra en el estudio del contenido de las publicaciones, abarcando áreas temáticas (por ejemplo, títulos y resúmenes) o los metadatos (por ejemplo, palabras clave). Este tipo de análisis permite extraer e identificar teorías, métodos, contribuciones, muestras, contextos, temas emergentes, temas más citados, conceptos y otros datos útiles para los fines de la investigación (Klarin, 2024). La figura 6 muestra la red de co-ocurrencia de palabras clave utilizada por los autores, lo que permite identificar líneas de investigación emergentes.

En el centro de la red, el término “virtual reality” es el nodo principal, evidenciando su papel como eje temático de la investigación. A partir de este nodo central se desprenden diversas ramas temáticas que reflejan el amplio espectro de aplicaciones de la RV en la educación de las ciencias. Entre los términos más destacados se encuentran “science education”, “immersive virtual reality”,

evolucionando, impulsando nuevas metodologías de enseñanza que aprovechen la interactividad y la experimentación virtual para mejorar los procesos de aprendizaje.

Referencias

- Agbo, F. J., Sanusi, I. T., Oyelere, S. S., & Suhonen, J. (2021). Application of Virtual Reality in Computer Science Education: A Systemic Review Based on Bibliometric and Content Analysis Methods. *Education Sciences*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/educsci11030142>
- Ahmed, T., Chowdhury, A. U. N., & Mozumder, Z. H. (2023). BIO-VR: Design and Implementation of Virtual Reality-Based Simulated Biology Laboratory Using Google Cardboard with an Emphasis on Virtual Education. En S. Smys, K. A. Kamel, & R. Palanisamy (Eds.), *Inventive Computation and Information Technologies* (pp. 867-883). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7402-1_62
- AlGerafi, M. A. M., Zhou, Y., Oubibi, M., & Wijaya, T. T. (2023). Unlocking the Potential: A Comprehensive Evaluation of Augmented Reality and Virtual Reality in Education. *Electronics*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/electronics12183953>
- Almufarreh, A., & Arshad, M. (2023). Promising Emerging Technologies for Teaching and Learning: Recent Developments and Future Challenges. *Sustainability*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/su15086917>
- Alves, G. Q., Reis, J. R. dos, Rodrigues, A. F. B., De Gregoriis, G., Oliveira, F. de M. R., Batista, I. L. M., & Monteiro, D. C. (22 al 26 de octubre de 2018). *Simulator of the Glycolytic Pathway in a Virtual Reality Environment as a Learning Resource for Teaching Cellular Respiration*. Proceedings of the 17th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems. Belém, Brasil. <https://doi.org/10.1145/3274192.3274242>
- Amarulloh, R. R., & Aswie, V. (2024). Bibliometric Analysis of Virtual Reality in Science Education over the Three Decades (1993-2023). *Science Education International*, 35(3). <https://n9.cl/zhyez2>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Au-Yong-Oliveira, M. A.-Y.-O., Walter, C. E. W., & Mangiatordi, A. M. (2022). Seeking Differentiated Instruction in Higher Education: An Analysis of the Literature. *European Conference on Research Methodology for Business and Management Studies*, 21(1). <https://doi.org/10.34190/ecrm.21.1.417>
- Bejarapu, D. S., Chen, Y., Xu, J., Shaffer, E., & Garg, N. (2024). Enhancing Learning Outcomes for Materials Crystallography via Virtual Reality: Role of User Comfort and Game Design. *Journal of Chemical Education*, 101(3), 973-983. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00930>
- Brylska, K., Gackowski, T., Kwiatkowska, A., & Dudziak-Kisio, M. (2024). Fun, experience or education? Learning efficiency-virtual reality lesson vs traditional lesson. *Information Technology & People*, 37(8), 216-234. <https://doi.org/10.1108/ITP-08-2022-0631>
- Büyükkıdık, S. (2022). A Bibliometric Analysis: A Tutorial for the Bibliometrix Package in R Using IRT Literature. *Journal of Measurement and Evaluation in Education and Psychology*, 13(3). <https://doi.org/10.21031/epod.1069307>
- Chaidir, D. M., Hernawati, Di., Hoeronis, I., Suryana, S., & Amarulloh, A. (2024). Virtual Reality Tour Education as An Instructional Material for Local Potential-Based Biodiversity to Promote 21st Century Skills. *Journal of Engineering Science and Technology*, 19(5), 1844-1864. <https://n9.cl/utc873>

- Chang, S. C., Hsu, T. C., Chen, Y. N., & Jong, M. S. (2020). The effects of spherical video-based virtual reality implementation on students' natural science learning effectiveness. *Interactive Learning Environments*, 28(7), 915-929. <https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1548490>
- Chuang, T. F., Chou, Y. H., Pai, J. Y., Huang, C. N., Bair, H., Pai, A., & Yu, N. C. (2023). Using Virtual Reality Technology in Biology Education: Satisfaction & Learning Outcomes of High School Students. *The American Biology Teacher*, 85(1), 23-32. <https://doi.org/10.1525/abt.2023.85.1.23>
- Cooper, G., Thong, L. P., & Tang, K. S. (2024). Transforming science education with virtual reality: An immersive representations model. *Educational Media International*, 61(3), 229-251. <https://doi.org/10.1080/09523987.2024.2389348>
- De Filippo, D., & Franze, M. T. (2002). Bibliometría. Importancia de los indicadores bibliométricos. En *El Estado de la Ciencia. Principales indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericanos/Interamericanos* (pp. 69-76). RICYT. <https://n9.cl/zz4ay>
- De Lorenzis, F., Visconti, A., Restivo, S., Mazzini, F., Esposito, S., Garofalo, S. F., Marmo, L., Fino, D., & Lamberti, F. (2024). Combining virtual reality with asymmetric collaborative learning: A case study in chemistry education. *Smart Learning Environments*, 11(1), 43. <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00331-8>
- Demirel, D., Hamam, A., Scott, C., Karaman, B., Toker, O., & Pena, L. (2021). Towards a New Chemistry Learning Platform with Virtual Reality and Haptics. En P. Zaphiris & A. Ioannou (Eds.), *Learning and Collaboration Technologies: Games and Virtual Environments for Learning* (pp. 253-267). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77943-6_16
- Dengel, A. (23 al 25 de octubre de 2019). *Computer Science Replugged: What Is the Use of Virtual Reality in Computer Science Education?* Proceedings of the 14th Workshop in Primary and Secondary Computing Education. Glasgow, Scotland, UK. <https://doi.org/10.1145/3361721.3362113>
- Di Lanzo, J. A., Valentine, A., Sohel, F., Yapp, A. Y. T., Muparadzi, K. C., & Abdelmalek, M. (2020). A review of the uses of virtual reality in engineering education. *Computer Applications in Engineering Education*, 28(3), 748-763. <https://doi.org/10.1002/cae.22243>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Dorta-González, P., & Dorta-González, M. I. (2010). Indicador bibliométrico basado en el índice h. *Revista Española de Documentación Científica*, 33(2). <https://doi.org/10.3989/redc.2010.2.733>
- Duque, P., & Oliva, E. J. D. (2022). Tendencias emergentes en la literatura sobre el compromiso del cliente: Un análisis bibliométrico. *Estudios Gerenciales*, 38(162), 120-132. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2022.162.4528>
- Ebrahimi, R., & Humairi, A. A. (2024). VR Simulation: Advancing Practical Skills in Computer Science Education. *European Conference on Games Based Learning*, 18(1). <https://doi.org/10.34190/ecgbl.18.1.2819>
- Echeverri-Jimenez, E., & Oliver-Hoyo, M. (2024). A Roadmap to Support the Development of Chemistry Virtual Reality Learning Environments Merging Chemical Pedagogy and Educational Technology Design. *Journal of Chemical Education*, 101(6), 2244-2256. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c01205>

- Ee Chu, C., Sian, G., Mishra, A., Wen, Y., Huei, C., Yeo, D. J., & Cheong, K. H. (2024). Enhancing Biology Laboratory Learning: Student Perceptions of Performing Heart Dissection with Virtual Reality. *IEEE Access*, 12, 76682-76691. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3394713>
- Figueredo, W. N., Macêdo, T. T. S., Cardoso, G. M. P., & Fernandes, E. T. B. S. (2020). Análise bibliométrica da produção brasileira sobre a COVID-19. *Revista Baiana de Enfermagem*, 34, 1-10. <https://doi.org/10.18471/rbe.v34.37107>
- Folgado-Fernández, J. A., Palos-Sánchez, P. R., & Camacho, M. A. (2020). Motivaciones, formación y planificación del trabajo en equipo para entornos de aprendizaje virtual. *Interciencia*, 45(2), 102-109. <https://n9.cl/h3cr1c>
- Freina, L., & Ott, M. (27 al 28 de abril de 2023). *A Literature Review on Immersive Virtual Reality in Education: State of The Art and Perspectives*. International Scientific Conference eLearning and Software for Education., Bucharest, Romania. <https://doi.org/10.12753/2066-026X-15-020>
- Fung, F. M., Choo, W. Y., Ardisara, A., Zimmermann, C. D., Watts, S., Koscielniak, T., Blanc, E., Coumoul, X., & Dumke, R. (2019). Applying a Virtual Reality Platform in Environmental Chemistry Education to Conduct a Field Trip to an Overseas Site. *Journal of Chemical Education*, 96(2), 382-386. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00728>
- García-Alcaraz, J. L., Realyvásquez, A., & Satapathy, S. (2024). Innovation, Safe and Smart Sustainable Manufacturing-A Bibliometric Review. En *Automation and Innovation with Computational Techniques for Futuristic Smart, Safe and Sustainable Manufacturing Processes* (pp. 3-36). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46708-0_1
- García-Villar, C., & García-Santos, J. M. (2021). Indicadores bibliométricos para evaluar la actividad científica. *Radiología*, 63(3), 228-235. <https://doi.org/10.1016/j.rx.2021.01.002>
- Hamilton, D., McKechnie, J., Edgerton, E., & Wilson, C. (2021). Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: A systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design. *Journal of Computers in Education*, 8(1), 1-32. <https://doi.org/10.1007/s40692-020-00169-2>
- Han, R., Feng, Z., Fan, X., Xu, T., Tian, J., & Meng, J. (12 al 14 de junio de 2020). *A new intelligent VR biological learning system based on natural interaction*. 2020 IEEE 4th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference. Chongqing, China. <https://doi.org/10.1109/ITNEC48623.2020.9085016>
- Hjørland, B. (2013). Facet analysis: The logical approach to knowledge organization. *Information Processing & Management*, 49(2), 545-557. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2012.10.001>
- Iscaro, V., Castaldi, L., & Buccino, G. (2021). Networked business incubators: A systematic literature review. *Global Business and Economics Review*, 25(3-4), 331-354. <https://doi.org/10.1504/GBER.2021.118708>
- Jong, M. S. Y. (2023). Flipped classroom: Motivational affordances of spherical video-based immersive virtual reality in support of pre-lecture individual learning in pre-service teacher education. *Journal of Computing in Higher Education*, 35(1), 144-165. <https://doi.org/10.1007/s12528-022-09334-1>
- Kader, S. N., Ng, W. B., Tan, S. W. L., & Fung, F. M. (2020). Building an Interactive Immersive Virtual Reality Crime Scene for Future Chemists to Learn Forensic Science Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 97(9), 2651-2656. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00817>

- Kariapper, R. K. A. R., Pirapuraj, P., Suhail Razeeth, M. S., Nafrees, A. C. M., & Fathima Roshan, M. (2021). Adaption of Smart Devices and Virtual Reality (VR) in Secondary Education. En H. Sharma, M. Saraswat, S. Kumar, & J. C. Bansal (Eds.), *Intelligent Learning for Computer Vision* (pp. 553-565). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4582-9_43
- Kersting, M., Bondell, J., Steier, R., & Myers, M. (2024). Virtual reality in astronomy education: Reflecting on design principles through a dialogue between researchers and practitioners. *International Journal of Science Education*, 14(2), 157-176. <https://doi.org/10.1080/21548455.2023.2238871>
- Klarin, A. (2024). How to conduct a bibliometric content analysis: Guidelines and contributions of content co-occurrence or co-word literature reviews. *International Journal of Consumer Studies*, 48(2), e13031. <https://doi.org/10.1111/ijcs.13031>
- Kouame, G., Davis, J., & Smith, L. (2023). Providing health sciences education through virtual reality experiences. *Journal of the Medical Library Association*, 111(4). <https://doi.org/10.5195/jmla.2023.1632>
- Kumar, A., Saudagar, A. K. J., Alkhatami, M., Alsamani, B., Khan, M. B., Hasanat, M. H. A., Ahmed, Z. H., Kumar, A., & Srinivasan, B. (2023). Gamified Learning and Assessment Using ARCS with Next-Generation AIoMT Integrated 3D Animation and Virtual Reality Simulation. *Electronics*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/electronics12040835>
- Laricheva, E. N., & Ilikchyan, A. (2023). Exploring the Effect of Virtual Reality on Learning in General Chemistry Students with Low Visual-Spatial Skills. *Journal of Chemical Education*, 100(2), 589-596. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00732>
- Li, C., He, A., Hu, J., Xia, Y., He, C., & Zhuang, W. (2024a). Mapping the evolution and frontiers of Translational Lung Cancer Research: A bibliometric analysis and literature review. *Translational Lung Cancer Research*, 13(12), 3764-3777. <https://doi.org/10.21037/tlcr-24-653>
- Li, L., Li, L., Zhong, B., & Yang, Y. (2024b). A scientometric analysis of technostress in education from 1991 to 2022. *Education and Information Technologies*, 29(17), 23155-23183. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12781-1>
- Liu, R., Kang, J., Wang, L., & Fan, M. (19 al 22 de julio de 2022). *Exploring Primary School Students' Academic Emotions and Learning Achievement in an Immersive Virtual Reality Science Classroom*. 2022 International Symposium on Educational Technology (ISET). Hong Kong, Hong Kong. <https://doi.org/10.1109/ISET55194.2022.00042>
- Loureiro, A., Melo, M., Peixoto, B., Pinto, D., Bessa, M., & Bercht, M. (2020). Learning in Virtual Reality: Investigating the Effects of Immersive Tendencies and Sense of Presence. En J. Y. C. Chen & G. Fragomeni (Eds.), *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Industrial and Everyday Life Applications* (pp. 270-286). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49698-2_18
- Lu, C. M., Wu, P. L., Cheng, Y. M., & Lou, S. (2018). Effects on patterns of learning-support design in immersive virtual reality system. *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 9(5), 1305-1317. <https://n9.cl/uuuuu>
- Lu, Y., Xu, Y., & Zhu, X. (2021). Designing and Implementing VR2E2C, a Virtual Reality Remote Education for Experimental Chemistry System. *Journal of Chemical Education*, 98(8), 2720-2725. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00439>

- Marougkas, A., Troussas, C., Krouska, A., & Sgouropoulou, C. (2023). Virtual Reality in Education: A Review of Learning Theories, Approaches and Methodologies for the Last Decade. *Electronics*, 12(13). <https://doi.org/10.3390/electronics12132832>
- Matovu, H., Ungu, D. A. K., Won, M., Tsai, C. C., Treagust, D. F., Mocerino, M., & Tasker, R. (2023). Immersive virtual reality for science learning: Design, implementation, and evaluation. *Studies in Science Education*, 59(2), 205-244. <https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2082680>
- Matovu, H., Won, M., Hernandez-Alvarado, R. B., Ungu, D. A. K., Treagust, D. F., Tsai, C. C., Mocerino, M., & Tasker, R. (2024). The Perceived Complexity of Learning Tasks Influences Students' Collaborative Interactions in Immersive Virtual Reality. *Journal of Science Education and Technology*, 33(4), 542-555. <https://doi.org/10.1007/s10956-024-10103-1>
- Mozaffari, M. H., Wen, S., & Lee, W. S. (12 al 13 de junio de 2018). *Virtual Reality and Tracking the Mating Behavior of Fruit Flies: A Machine Learning Approach*. 2018 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications. Ottawa, ON, Canada. <https://doi.org/10.1109/CIVEMSA.2018.8439989>
- Muñoz-Saavedra, L., Miró-Amarante, L., & Domínguez-Morales, M. (2020). Augmented and Virtual Reality Evolution and Future Tendency. *Applied Sciences*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/app10010322>
- Mystakidis, S., & Christopoulos, A. (2022). Teacher Perceptions on Virtual Reality Escape Rooms for STEM Education. *Information*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/info13030136>
- Naz, Z., Azam, A., Khan, M. U. G., Saba, T., Al-Otaibi, S., & Rehman, A. (2024). Development and evaluation of immersive VR laboratories of organic chemistry and physics for students' education. *Physica Scripta*, 99(5), 056101. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ad3024>
- Ogegbo, A. A., Penn, M., Ramnarain, U., Pila, O., Van Der Westhuizen, C., Mdlalose, N., Moser, I., Hlosta, M., & Bergamin, P. (2024). Exploring pre-service teachers' intentions of adopting and using virtual reality classrooms in science education. *Education and Information Technologies*, 29(15), 20299-20316. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12664-5>
- Ohri, A. (2013). *R for Business Analytics*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4343-8>
- Pande, P., Thit, A., Sørensen, A. E., Mojsoska, B., Moeller, M. E., & Jepsen, P. M. (2021). Long-term effectiveness of immersive VR simulations in undergraduate science learning: Lessons from a media-comparison study. *Research in Learning Technology*, 29. <https://doi.org/10.25304/rlt.v29.2482>
- Parong, J., & Mayer, R. E. (2021). Cognitive and affective processes for learning science in immersive virtual reality. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(1), 226-241. <https://doi.org/10.1111/jcal.12482>
- Paszkievicz, A., Salach, M., Dymora, P., Bolanowski, M., Budzik, G., & Kubiak, P. (2021). Methodology of Implementing Virtual Reality in Education for Industry 4.0. *Sustainability*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/su13095049>
- Patterson, K., Lilja, A., Arrebola, M., & McGhee, J. (14 al 16 de noviembre de 2019). *Molecular Genomics Education Through Gamified Cell Exploration in Virtual Reality*. Proceedings of the 17th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry. Brisbane, QLD, Australia. <https://doi.org/10.1145/3359997.3365724>

- Paxinou, E., Kalles, D., Panagiotakopoulos, C. T., Sgourou, A., & Verykios, V. S. (2021). An IRT-based approach to assess the learning gain of a virtual reality lab student's experience. *Intelligent Decision Technologies*, 15(3), 487-496. <https://doi.org/10.3233/IDT-200216>
- Poulter, H., Diebold, L., Kelly, S., Pakalapati, S., Rao, A., & Rojas-Muñoz, E. (18 al 21 de octubre de 2023). *Cell Tour: Learning About the Cellular Membrane Using Virtual Reality*. 2023 IEEE Frontiers in Education Conference. College Station, TX, USA. <https://doi.org/10.1109/FIE58773.2023.10343291>
- Pranckutė, R. (2021). Web of Science (WoS) and Scopus: The Titans of Bibliographic Information in Today's Academic World. *Publications*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/publications9010012>
- Ragazou, K., Passas, I., Garefalakis, A., & Zopounidis, C. (2023). Financial Analytics and Decision-Making Strategies: Future Prospects from Bibliometrix Based on R Package. En P. Alphonse, K. Bouaiss, P. Grandin, & C. Zopounidis (Eds.), *Essays on Financial Analytics: Applications and Methods* (pp. 159-173). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-29050-3_9
- Ramos-Enríquez, V., Duque, P., & Salazar, J. A. V. (2021). Responsabilidad social corporativa y emprendimiento: Evolución y tendencias de investigación. *Desarrollo Gerencial*, 13(1). <https://doi.org/10.17081/dege.13.1.4210>
- Rojas-Sánchez, M. A., Palos-Sánchez, P. R., & Folgado-Fernández, J. A. (2023). Systematic literature review and bibliometric analysis on virtual reality and education. *Education and Information Technologies*, 28(1), 155-192. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11167-5>
- Shen, C., Ho, J., Ly, P. T. M., & Kuo, T. (2019). Behavioural intentions of using virtual reality in learning: Perspectives of acceptance of information technology and learning style. *Virtual Reality*, 23(3), 313-324. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0348-1>
- Shim, K.-C., Park, J.-S., Kim, H.-S., Kim, J.-H., Park, Y.-C., & Ryu, H.-I. (2003). Application of virtual reality technology in biology education. *Journal of Biological Education*, 37(2), 71-74. <https://doi.org/10.1080/00219266.2003.9655854>
- Southgate, E. (21 al 25 de junio de 2020a). *Conceptualising Embodiment through Virtual Reality for Education*. 2020 6th International Conference of the Immersive Learning Research Network. San Luis Obispo, CA, USA. <https://doi.org/10.23919/iLRN47897.2020.9155121>
- Southgate, E. (22 al 26 de marzo de 2020b). *Using Screen Capture Video to Understand Learning in Virtual Reality*. 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops. Atlanta, GA, USA. <https://doi.org/10.1109/VRW50115.2020.00089>
- Steynberg, J., van Biljon, J., & Pilkington, C. (2020). *Design Aspects of a Virtual Reality Learning Environment to Assess Knowledge Transfer in Science*. *Innovative Technologies and Learning*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63885-6_35
- Sumardani, D., & Lin, C. H. (2024). Investigating the Factors that Influence the Implementation of Virtual Reality in Science Learning. *Journal Pendidikan IPA Indonesia*, 13(1). <https://doi.org/10.15294/jpii.v13i1.44018>
- Suno, H., & Ohno, N. (2023). Virtual Hydrogen, a virtual reality education tool in physics and chemistry. *Procedia Computer Science*, 225, 2283-2291. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.219>

- Tarng, W., Su, Y. C., & Ou, K. L. (2023). Development of a Virtual Reality Memory Maze Learning System for Application in Social Science Education. *Systems*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/systems11110545>
- Thelwall, M., & Sud, P. (2022). Scopus 1900–2020: Growth in articles, abstracts, countries, fields, and journals. *Quantitative Science Studies*, 3(1), 37-50. https://doi.org/10.1162/qss_a_00177
- Tiwari, C. K., Bhaskar, P., & Pal, A. (2023). Prospects of augmented reality and virtual reality for online education: A scientometric view. *International Journal of Educational Management*, 37(5), 1042-1066. <https://doi.org/10.1108/IJEM-10-2022-0407>
- Traag, V. A., Waltman, L., & Van Eck, N. J. (2019). From Louvain to Leiden: Guaranteeing well-connected communities. *Scientific Reports*, 9(1), 5233. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41695-z>
- Vătămănescu, E. M., Dominici, G., Ciuciuc, V. E., Vițelar, A., & Anghel, F. G. (2024). Connecting smart mobility and car sharing using a systematic literature review. An outlook using Bibliometrix. *Journal of Cleaner Production*, 485, 144333. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144333>
- Wang, C. H. (2024). Education in the metaverse: Developing virtual reality teaching materials for K–12 natural science. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13156-2>
- Wang, L. J., Casto, B., Luh, J. Y., & Wang, S. J. (2022). Virtual Reality-Based Education for Patients Undergoing Radiation Therapy. *Journal of Cancer Education*, 37(3), 694-700. <https://doi.org/10.1007/s13187-020-01870-7>
- Webb, M., Tracey, M., Harwin, W., Tokatli, O., Hwang, F., Johnson, R., Barrett, N., & Jones, C. (2019). Design Considerations for Haptic-Enabled Virtual Reality Simulation for Interactive Learning of Nanoscale Science in Schools. En *Immersive Learning Research Network* (pp. 56-67). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23089-0_5
- Webb, M., Tracey, M., Harwin, W., Tokatli, O., Hwang, F., Johnson, R., Barrett, N., & Jones, C. (2022). Haptic-enabled collaborative learning in virtual reality for schools. *Education and Information Technologies*, 27(1), 937-960. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10639-4>
- Williams, N. D., Gallardo-Williams, M. T., Griffith, E. H., & Bretz, S. L. (2022). Investigating Meaningful Learning in Virtual Reality Organic Chemistry Laboratories. *Journal of Chemical Education*, 99(2), 1100-1105. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00476>
- Williams, R., Dumas, C., & Flanagan, J. (2023). Virtual Reality Training and Library Science Education: Examining the Possibilities. *Journal of Education for Library and Information Science*, 64(4), 417-433. <https://doi.org/10.3138/jelis-2022-0021>
- Xue, F., Guo, R., Yao, S., Wang, L., & Ma, K. L. (23 al 28 de abril de 2023). *From Artifacts to Outcomes: Comparison of HMD VR, Desktop, and Slides Lectures for Food Microbiology Laboratory Instruction*. Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Hamburg, Germany. <https://doi.org/10.1145/3544548.3580913>
- Zaatar, M. T., Masri, N., Alfahel, M., Antar, G., Dayal, A., Khamis, H., Kuruvani, M., & Kachaamy, G. (2024). Exploring the Virtual Frontier: The Impact of Virtual Reality on Undergraduate Biology Education at the American University in Dubai. *International Journal of Information and Education Technology*, 14(5), 675-680. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2024.14.5.2092>

Zhang, L., & A. Bowman, D. (22 al 24 de junio de 2022). *Exploring Effect of Level of Storytelling Richness on Science Learning in Interactive and Immersive Virtual Reality*. Proceedings of the 2022 ACM International Conference on Interactive Media Experiences. Aveiro, JB, Portugal. <https://doi.org/10.1145/3505284.3529960>

Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429-472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>

Transparencia

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés de naturaleza alguna.

Fuente de financiamiento

Los autores financiaron completamente la investigación.

Contribución de autoría

Celso Vladimir Benavides Enríquez: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Estefanía Nataly Quiroz Carrión: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Paulina Fernanda Parra Alvarez: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, recursos, supervisión.

Carmen Viviana Basantes Vaca: Conceptualización, software, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, recursos, supervisión.

Los autores contribuyeron activamente en el análisis de los resultados, revisión y aprobación del manuscrito final.