

METAANÁLISIS DEL EFECTO DE LA INTEGRACIÓN DE LOS SIMULADORES VIRTUALES EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

META-ANALYSIS OF THE EFFECT OF INTEGRATING VIRTUAL SIMULATORS INTO SCIENCE TEACHING

Luis Orlando Chonillo-Sislema¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7461-1096>

¹Profesor-investigador y Asesor metodológico de investigación del Centro Académico Cauchy, Riobamba, Ecuador, email: luischonillo035@gmail.com

RESUMEN

Los simuladores virtuales (SV) se han convertido en verdaderos escenarios del conocimiento, al ser capaces de trasladar lo abstracto a lo visible y lo inaccesible a lo manipulable. Sin embargo, pocos estudios han explorado, analizado y sistematizado el impacto de los SV en la enseñanza de las ciencias. El método fue una revisión sistemática, aplicando la metodología SALSA (Búsqueda, Evaluación, Síntesis y Análisis), con metaanálisis para definir el efecto de los SV en el aprendizaje de los estudiantes. La muestra fue de 31 estudios extraídos de Scopus, SciELO, PubMed y Latindex 2.0, en los que en primer lugar se analizó el papel educativo de los SV en la última década; de ellos, 16 estudios fueron metaanalizados con un total de 1296 estudiantes. El efecto medio estandarizado de intervenciones con SV fue grande (1.73, IC95% [1.00;2.45]; $Z = 4.67$, $p = .001$) frente a los métodos tradicionales utilizados, con una alta heterogeneidad ($I^2 = 94.8\%$, $p < .01$); variables como el nivel educativo, tipo de simulación, enfoque metodológico y duración de programas modularon la efectividad de los SV. Estos hallazgos respaldan que los SV son un recurso eficaz para la enseñanza de las ciencias, siempre y cuando se articulen a procesos híbridos de aprendizaje.

PALABRAS CLAVE: Aprendizaje activo, enseñanza de las ciencias, estrategia de enseñanza, metaanálisis, tecnología educacional

ABSTRACT

Virtual simulators (VS) have become true knowledge scenarios, capable of transforming the abstract into the visible and the inaccessible into the manipulable. However, few studies have explored, analysed, and systematized the impact of VS on science education. The method was a systematic review that applied the SALSA methodology (Search, Assessment, Synthesis, and Analysis) and used meta-analysis to define the effect of VS on student learning. The sample consisted of 31 studies extracted from Scopus, SciELO, PubMed, and Latindex 2.0, in which the educational role of VAs over the last decade was first analysed; of these, 16 were meta-analysed, involving a total of 1,296 students. The standardized mean effect of SV interventions was large (1.73, 95% CI [1.00; 2.45]; $Z = 4.67$, $p = .001$) compared to traditional methods, with high heterogeneity ($I^2 = 94.8\%$, $p < .01$); variables such as educational level, type of simulation, methodological approach, and program duration modulated the effectiveness of VEs. These findings support the use of VEs as an effective resource for science education, provided they are integrated into hybrid learning processes.

KEYWORDS: Active learning, science education, teaching strategy, meta-analysis, educational technology

Recibido: (01/09/2025)

Aceptado: (08/12/2025)

INTRODUCCIÓN

Es indiscutible que, gracias a las nuevas tecnologías aplicadas a la educación científica, los modelos tradicionales de enseñanza se ven interpelados por formas nuevas de representar y comprender la realidad. Antes de la revolución digital, aprender ciencias en las aulas resultaba un ejercicio complejo, distante e incluso inalcanzable, pues la comprensión de muchos fenómenos quedaba limitada a la imaginación del estudiante.

La enseñanza de las ciencias experimentales -química, física y biología-, históricamente centrada en la transmisión unidireccional de contenidos y en prácticas convencionales en el laboratorio, se ha revitalizado gracias a las tecnologías inmersivas que permiten integrar elementos virtuales al entorno real, dando cabida a múltiples vínculos en los que se representan las ciencias.

El creciente interés por incorporar recursos digitales en los procesos pedagógicos responde no solo a la necesidad de modernizar los entornos educativos, sino también a la demanda de experiencias de aprendizaje más significativas, dinámicas y personalizadas. Esto se debe a que los “estudiantes se han convertido en exigentes evaluadores de la actividad didáctica del docente; es por ello que la educación tradicional de las ciencias en las aulas les parece tediosa, abstracta, de poco aporte a su aprendizaje” (Carbajal-Destre et al., 2022, p. 485).

La adquisición del conocimiento desde la lógica de Bruner (1974) sucede cuando el alumno aprende desde el descubrimiento, que tiene lugar durante una exploración motivada por la curiosidad de conocer acerca de la asignatura. En este marco, los SV proporcionan al alumno un mayor contacto efectivo con la ciencia, permitiéndoles aprender de forma intuitiva y dinámica. Para George Pimentel (citado en Hernández, 2012), los SV están diseñados para que el estudiante comprenda mejor la naturaleza de las ciencias, ya que estos exigen un realismo que facilita entrar en contacto con ciertos elementos de un caso real.

Su utilización no constituye una novedad: desde hace años, los profesores de ciencias recurren a simuladores como estrategia didáctica para favorecer aprendizajes en temáticas abstractas. En palabras de Martínez (2005) el estudio de las ciencias:

debe apoyarse de actividades auxiliares en las que se muestren los procesos, cambios y los fenómenos naturales, en un entorno lo más cercano a como se producen en la realidad, para que los estudiantes puedan apreciar variaciones y puedan llegar a determinadas conclusiones, si son bien conducidos la observación, interpretación y el razonamiento. (p 8)

Los SV, integrados en plataformas de realidad aumentada, laboratorios digitales, mundos virtuales 3D o interfaces basadas en inteligencia artificial, constituyen complejos sistemas capaces de reproducir y replicar aspectos conceptuales en escenarios reales. Gracias a ellos, hoy es posible modelar procesos químicos, visualizar estructuras microscópicas, simular condiciones experimentales con un grado de detalle, entender procesos celulares o interacciones planetarias a gran escala. A través de sus escenarios dinámicos y manipulables, se posicionan como una estrategia disruptiva que desafía los modelos de enseñanza-aprendizaje lineales y memorísticos.

Para Carrizo (2021), los SV constituyen un espacio artificial o mundo imaginario con el cual el estudiante interactúa. Estos entornos virtuales sustentan su valor pedagógico en el aprendizaje experiencial (*experiential learning*) y en su aplicación práctica aprender haciendo (*learning by doing*). Ambos términos coinciden que la forma más eficaz de construir el conocimiento es a través de experiencias significativas. En la misma línea, Cueva et al. (2019) alude que los SV representan un nuevo lenguaje práctico para la enseñanza de conceptos y la génesis de conocimientos, proceso que tiene al interior de escenarios difusos de elementos centrales y cambiantes.

En los últimos años, diversos estudios han explorado el efecto de las tecnologías en la educación, intensificando los resultados de aprendizaje en varias disciplinas académicas. Los SV han sido objeto de creciente atención en investigaciones orientadas a la enseñanza de las ciencias, quienes han intentado sintetizar la eficacia de los SV sobre los resultados del aprendizaje (Campos & Benarroch, 2024; Kartimi et al., 2022; Rosli & Ishak, 2024; Villalobos-Molero & Romero-Alonso,

2023; Yaipén-Gonzales et al., 2023; Zárate-Moedano et al., 2022). Sin embargo, la mayoría de estas revisiones han sido narrativas, bibliométricas, bibliográficas o sistemáticas, evidenciando resultados muy prometedores en cuanto al entendimiento y comprensión de las ciencias y sin llegar a cuantificar de manera precisa el impacto de los SV en el aprendizaje.

De hecho, algunos metaanálisis como el de Cao et al. (2025), D'Angelo et al. (2013; 2014) lo han realizado en materias STEM (acrónimo en inglés de *Science, Technology, Engineering, and Mathematics*); Zaturrahmi et al. (2020) sobre laboratorios virtuales (LV); Li y Liang (2024) LV en educación en ingeniería; y Uslu-Sahan et al. (2023) en simulación de realidad virtual aplicada a enfermería. Como se evidencia, investigaciones similares existen, pero ninguno cuantifica el impacto de los SV en la enseñanza de las ciencias experimentales a partir de la evidencia reportada en la literatura.

Por consiguiente, para avanzar en la creación de nuevo conocimiento, se requiere de un acercamiento analítico que evalúe los resultados acumulados de estudios previos sobre los SV. A partir de estas consideraciones, la revisión previa al presente artículo se enfocó en comparar los hallazgos obtenidos en diferentes niveles educativos, áreas experimentales y contextos geográficos, para establecer patrones comunes y detectar brechas de conocimiento. Los resultados de este artículo permitirán conocer la magnitud de este impacto y apoyaría el proceso de decisión de los docentes que se planteen adoptar SV como centros de conocimiento para la enseñanza de las ciencias.

METODOLOGÍA

A partir de los estudios de Ronilo y Castro (2023) y Bernal-García et al. (2022), se ejecutó una revisión sistemática (RS) con metaanálisis (MA). La revisión construyó su *corpus* de conocimiento a partir de dos fuentes: la primera giró en torno a la interpretación, síntesis y análisis de la literatura científica recabada de los estudios seleccionados y la segunda combinó datos (n, muestra; M, media; SD, desviación estándar), adoptados de los estudios para realizar el MA.

Para la notificación adecuada de los resultados, se utilizaron las recomendaciones de los reportes de Botella y Zamora (2017) y Sánchez-Meca (2022). Para el desarrollo de la RS y el MA se empleó la metodología SALSA (acrónimo en inglés de *Search, Appraisal, Synthesis, Analysis*; Grant y Booth, 2009). Este marco “garantizó precisión investigativa, sistematización, exhaustividad y reproducibilidad del estudio (...) reduciendo riesgos relacionados con el sesgo de publicación y aumentar su aceptabilidad” (Mengist et al., 2020, p. 8).

La revisión fue realizada en cinco pasos:

1. Protocolo de investigación

Se utilizó el *framework* PICOSⁱ para la composición de la pregunta, pregunta que responde: ¿Cuál es la efectividad de los SV en la enseñanza de las ciencias, en comparación con los métodos tradicionales, para mejorar el aprendizaje de los estudiantes según la evidencia en estudios cuasiexperimentales?

A partir de esta pregunta y de los antecedentes revisados se desprende la siguiente hipótesis: las intervenciones basadas en SV producen resultados de aprendizaje significativamente superiores en comparación con las intervenciones tradicionales.

Además, también se recurrió a preguntas como: a) ¿Qué estudios se obtienen de la literatura científica acerca de los SV en el aprendizaje de las ciencias? b) ¿Cuáles son los simuladores más investigados para la enseñanza de las ciencias experimentales? c) ¿Qué contenidos se han abordado en las investigaciones sobre los SV?

2. Search (Búsqueda)

La búsqueda se efectuó de abril a junio de 2025 en las bases de datos de Scopus, PubMed, *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) y el catálogo Latindex 2.0, empleando las palabras clave en español e inglés: “simuladores virtuales”, “*virtual simulators*”, “*virtual labs*”, “aprendizaje en ciencias”, “*learning with simulations*”. También, se empleó Google Académico con el propósito

de detectar posible literatura gris sobre el tema. Para mejorar la precisión de la búsqueda, se utilizaron operadores booleanos (*AND*, *OR*). El periodo de indagación se delimitó a diez años entre 2015 y 2025, con el fin de garantizar la actualidad de los resultados.

3. *Appraisal* (Valoración)

Los estudios se sometieron a un proceso de valoración crítica. Se incluyeron: a) investigaciones empíricas que evalúen la variable aprendizaje; b) estudios con enfoque cuantitativo o mixto; c) estudios con diseño cuasiexperimental con grupo control (GC) y grupo intervención (GI); d) publicaciones con suficiente información estadística M (media), SD (desviación estándar); e) en formato (artículo, ponencia, capítulos, etc.); y f) estudios publicados en idioma inglés y español. Por otro lado, se excluyeron: a) publicaciones duplicadas; b) estudios sin respaldo estadístico; y c) documentos que no presentaban resultados claros en términos de aprendizaje.

Como se observa en la figura 1, se identificaron 190 registros provenientes de las bases Scopus (n = 65), Pubmed (n = 26), SciELO (n = 44) y Latindex 2.0 (n = 55); y 10 estudios se integraron desde una búsqueda complementaria. El total de registros (n = 200) pasaron al software *Mendeley* para su posterior análisis, donde los duplicados también fueron eliminados (n = 46), al igual que investigaciones que solo contaban con el resumen (n = 45), lo que resultó en 109 documentos únicos que pasaron a una lectura rápida del título, palabras clave y resumen, descartándose 35 estudios por problemas de acceso para su lectura.

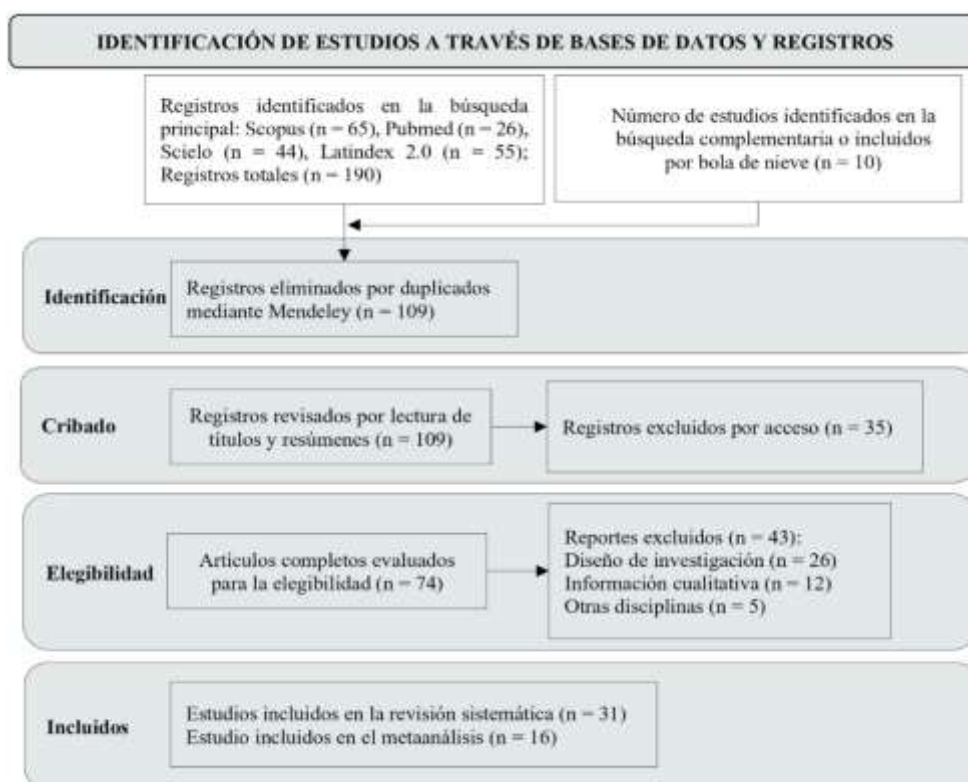


Figura 1: Diagrama de flujo del proceso de búsqueda y selección de estudios

A partir de estos criterios de inclusión, a los 74 documentos registrados se les realizó una revisión exhaustiva de los textos completos, donde se excluyeron 43 estudios por no tener claridad en el diseño metodológico, información cualitativa sin respaldo estadístico (M, SD), estudios en idiomas ajenos al español e inglés, y estudios con SV aplicados en otras disciplinas académicas (e.g., matemática). Así, el paquete final quedó conformado por 31 estudios que cumplieron con los objetivos y criterios establecidos, donde 11 fueron de Scopus; 4 de PubMed; 8 de Latindex; 2 de SciELO y 6 se integraron en la búsqueda complementaria.

4. *Synthesis* (Síntesis)

La información obtenida del paquete final se organizó a través de varios indicadores bibliométricos almacenados en una matriz en *Microsoft Excel*, como la población involucrada, los contextos educativos (escolar, universitario o formación técnica), así como resultados relacionados con el aprendizaje. Esta síntesis identificó tendencias comunes como el número de estudios por año, países con mayor utilización de SV, niveles educativos en que fueron aplicados, diseños metodológicos, instrumentos, tipo de simulación y contenidos temáticos para los cuales fueron abordados.

5. Analysis (Análisis)

Se efectuó un análisis de la información de los estudios que fue organizada en indicadores bibliométricos y la gestión de gráficos de frecuencia, nubes de palabras y redes de concurrencia, utilizando SPSS V.27 y VOSviewer. De ellos, un número pequeño de estudios aportaron datos estadísticos (n, M, SD) para el MA; se empleó el *software* RStudio para el análisis estadístico con la intención de calcular las diferencias de medias estandarizadas (DMS) (evaluó el DMS como <0.2, trivial; 0.2-0.5, pequeño; 0.6-1.2, moderado; 1.2-2.0, grande; 2.0-4.0, muy grande; > 4.0, extremadamente grande; Cohen, 2013).

La medida DMS se empleó porque todos los estudios evaluaron la misma variable (aprendizaje), pero de forma distinta. En el caso de detectar heterogeneidad, se procedió a aplicar el modelo de efectos aleatorios; sin embargo, al aplicar este procedimiento, no se resolvió la heterogeneidad. En consecuencia, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad *leave-one-out*, acompañado de la interpretación del gráfico *Galbraith plot* para examinar la heterogeneidad y un análisis de variables moderadoras que permitió explicar las posibles fuentes de dicha variación.

La medida I^2 se analizó como marcador estadístico junto a la chi-cuadrada para determinar si las diferencias observadas eran compatibles solo con el azar. Para medir la heterogeneidad, se utilizaron los siguientes parámetros de evaluación: inconsistencia pequeña, 25-50; media, 50-75; alta, cuando es superior el porcentaje al 75 % (Higgins, 2003). Finalmente, el sesgo de publicación se evaluó a partir de la interpretación gráfica *funnel plot* y se verificó mediante pruebas estadísticas (Sánchez-Meca, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CARACTERÍSTICAS GENERALES

A continuación, se presentan los resultados de la RS y el MA en dos secciones, la primera contiene las tendencias en la aplicación de los SV en la enseñanza de las ciencias, a partir del análisis de datos bibliométricos y metodológicos, mientras que en la segunda sección se expone el efecto de los SV en la enseñanza de las ciencias, para lo cual se realizó una estimación del efecto combinado, como consecuencia del análisis de resultados de los estudios independientes revisados.

La tabla 1 expone datos cualitativos más relevantes de la revisión; de estos, 16 de ellos (estudios 2, 4, 7, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 28, 29, 31; tabla 2) eran susceptibles para el MA, ya que los demás solo proporcionaban valores del pretest y posttest en el GI, intervenciones sin GC y estudios con muestras $n < 20$ individuos o faltaban datos de la M o SD.

Tabla 1: Resumen de los estudios incluidos en la revisión

ID	Año*	País o región	Base	Método	Simulación	Duración	Muestra	Nivel educativo	Ciencia
1	2023	Perú	Scopus	Cuantitativo	Laboratorio	9 meses	14 alumnos	Superior	Química
2	2019	Filipinas	Libre	Mixto	Diseccción	6 meses	GC, 90 GI, 90	Bachillerato	Biología
3	2022	Ecuador	Scielo	Cuantitativo	Laboratorio	6 meses	102 alumnos	Superior	Química
3	2021	Taiwan	Scopus	Cuantitativo	Laboratorio	6 meses	GC, 40 GI, 41	Primaria	Química
4	2021	España	Scopus	Cuantitativo	Diseccción	Sesión 2 h	211 alumnos	Superior	Biología
6	2023	Filipinas	Libre	N/A	Diseccción	Sesión 0.3 h	24 alumnos	Superior	Biología
7	2024	Colombia	Scopus	Mixto	Diseccción	1 meses	GC, 38 GI, 31	Superior	Biología
8	2019	EE.UU	Pubmed	Cuantitativo	Diseccción	Sesión 2 h	GC, 7 GI, 7	Superior	Biología
9	2021	EE.UU	Pubmed	Mixto	Realidad aumentada	1 sesiones	GC, 15 GI, 15	Superior	Biología
10	2020	Indonesia	Libre	Cuantitativo	Simulador	2 meses	GC, 23 GI, 24	Bachillerato	Física
11	2025	México	Scopus	Cuantitativo	Simulador	1. 25 meses	GC, 31 GI, 29	Superior	Física
12	2015	Eslovenia	Scopus	Cuantitativo	Laboratorio	N/A	GC,81 GI,144	Primaria	Química
13	2022	España	Scopus	Cuantitativo	Laboratorio	5 sesiones	18 alumnos	Bachillerato	Biología
14	2023	China	Pubmed	Cuantitativo	Realidad Virtual	0.75 meses	GC, 58 GI, 55	Superior	Biología
15	2020	Nigeria	Scopus	Cuantitativo	Laboratorio	N/A	GC, 20 GI, 30	Bachillerato	Física
16	2025	Etiopía	Libre	Mixto	Simulador	12 meses	GC,26 GI, 25	Bachillerato	Química
17	2023	Rwanda	Scopus	N/A	Laboratorio	N/A	GC,66 GI, 64	Bachillerato	Física
18	2022	Malasia	Scopus	Cuantitativo	Simulador	N/A	GC,30 GI, 30	Bachillerato	Física
19	2025	Ecuador	Latindex	Cuantitativo	Simulador	N/A	GC,24 GI, 24	Bachillerato	Física
20	2021	Malasia	Latindex	Cuantitativo	Simulador	1 mes	GC,33 GI, 33	Bachillerato	Química
21	2025	Malasia	Latindex	Cuantitativo	Laboratorio	N/A	GC,46 GI, 41	Bachillerato	Química
22	2025	Ecuador	Latindex	Cuantitativo	Simulador	4.5 meses	GC,60 GI,60	Bachillerato	Química
23	2023	Malasia	Libre	N/A	Simulador	N/A	36 alumnos	Superior	Biología
24	2024	Israel	Scopus	Cuantitativo	Simulador	2 meses	50 alumnos	Primaria	Química
25	2024	Ecuador	Latindex	Cuantitativo	Laboratorio	N/A	30 alumnos	Superior	Biología
26	2024	Ecuador	Latindex	Cuantitativo	Simulador	N/A	446 alumnos	Bachillerato	Biología
27	2021	Italia	Pubmed	N/A	Simulador	0.23 mes	GC,15 GI, 15	Superior	Biología
28	2022	Ecuador	Latindex	Cuantitativo	Simulador	N/A	GC,29 GI, 27	Bachillerato	Física
29	2023	México	Latindex	Cuantitativo	Laboratorio	5 meses	GC, 24 GI, 28	Superior	Biología
30	2021	Ecuador	Scielo	Cuantitativo	Laboratorio	5 meses	32 alumnos	Bachillerato	Química
31	2024	Nigeria	Libre	Cuantitativo	Laboratorio	N/A	GC, 43 GI, 43	Bachillerato	Química

Tabla 2: Resumen de los estudios incluidos en el MA

Estudios (ID)	Diseño	Nivel	Duración	Tratamiento			Control			SMD (d)
				M	SD	n	M	SD	n	
2	Cuasiexperimental	Bachillerato	6 meses	27,4	4,16	90	24,96	3,44	90	0,64
3	Cuasiexperimental	Primaria	6 meses	85,979	0,775	41	83,621	0,784	40	3,03
7	Cuasiexperimental	Superior	1 mes	9	1,15	38	7,26	2,25	31	0,99
10	Cuasiexperimental	Bachillerato	N/A	76,83	11,73	24	58,91	8,91	23	1,72
14	Cuasiexperimental	Superior	0.75 mes	32	9	55	37,32	5,56	58	-0,72
15	Cuasiexperimental	Bachillerato	N/A	44,65	5,12	20	17,7	3,53	30	6,37
16	Cuasiexperimental	Bachillerato	12 meses	44	5,34	25	42,4	12,1	26	0,17
17	Cuasiexperimental	Bachillerato	N/A	31,1	7,974	64	24,19	8,28	66	0,85
18	Cuasiexperimental	Bachillerato	N/A	13,37	1,65	30	9,33	2,73	30	1,79
19	Cuasiexperimental	Bachillerato	N/A	8,79	0,72	24	6,42	0,83	24	3,05
20	Cuasiexperimental	Bachillerato	1 mes	3,15	0,395	33	2,68	0,312	33	1,32
21	Cuasiexperimental	Bachillerato	N/A	79,61	2,97	41	64,24	10,33	46	1,97
22	Cuasiexperimental	Bachillerato	4.5 meses	78,4	8,3	60	60,5	7,1	60	2,32
28	Cuasiexperimental	Bachillerato	N/A	9,36	0,49	27	8,9	0,78	29	0,7
29	Cuasiexperimental	Superior	5 meses	67,5	20	28	14,4	18,6	24	2,74
31	Cuasiexperimental	Bachillerato	N/A	77	9,55	43	59,67	11,61	43	1,63

TENDENCIAS DE LOS SV EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

La evolución de la producción científica referida al uso de los SV evidenció que los años con mayor difusión de estudios fueron 2021 y 2023, con un 19.35 % cada año, siendo evidente una mayor cantidad de publicaciones en el 2024 y 2025 (revisado hasta junio). Los picos en estos años muestran una dinámica interesante debido a la migración a la modalidad virtual ante las regulaciones por la pandemia de la COVID-19, que obligó a la adopción de nuevas tecnologías de aprendizaje. De igual forma, la base de datos Scopus ($n = 11$, 35.48%) arrojó la mayor cantidad de trabajos referidos al tema.

En relación con la distribución geográfica (figura 2B), trece manuscritos fueron realizados en países americanos (Perú, Ecuador, Colombia, Estados Unidos, México); diez en países asiáticos (Filipinas, Taiwán, China, Malasia, Israel, Indonesia); cuatro en Europa (España, Italia, Eslovenia), y cuatro en países africanos (Nigeria, Etiopía, Rwanda); y fueron Ecuador ($n = 7$, 19%) y Malasia ($n = 7$, 12%) quienes presentan el mayor número de estudios. Asimismo, el análisis lingüístico de las publicaciones reveló estudios escritos en inglés ($n = 21$, 67.7%) y en español ($n = 10$, 32.3%).

Para Lorenzo (2022), el continuo crecimiento de nuevos estudios sobre tecnologías inmersivas es cada vez más recurrente en los ámbitos del conocimiento experimental que lo utilizan como una herramienta para el proceso de aprendizaje y enseñanza. Este hallazgo ha podido obtener una imagen sobre los años y los países que han sido pioneros de nuevas ideas e intervenciones en el ámbito de la tecnología educativa en el campo de las ciencias experimentales.

El análisis de los campos de conocimiento evidencia una marcada predominancia de las investigaciones en un 41.9 % en Biología, un 35.5 % en Química y el 22.6 % en Física; donde la mayor parte se aplicó dentro de las Ciencias Sociales ($n = 24$, 74.42 %), el 16.13 % (5) en Ciencias de la Salud y el 6.52 % (2), ambas en Ciencias Naturales e Ingeniería. Esta distribución está asociada con la facilidad de implementar recursos digitales y técnicas, donde los contenidos resultan más cercanos a la vida cotidiana y permiten mayor conexión con la realidad de los estudiantes.

También los estudios revisados indicaron una concentración de experiencias con SV llevada a cabo en niveles de bachillerato con el 48.4 % de los trabajos abordados. Además, la presencia de niveles de educación superior (48.4 %) y un 9.7 % se vinculan a nivel de primaria (ver figura 2C). El análisis de los diseños de investigación muestra que la mitad de los estudios son o bien cuantitativos ($n = 24$, 77.42%) o bien mixtos ($n = 4$, 12.90%); cuatro estudios no especificaron información N/A ($n = 3$, 9.68%). La mayoría responden a investigaciones cuasiexperimentales con grupo control ($n = 23$, 74.2%), cuasiexperimentales en un único grupo ($n = 3$, 9.7%), cuasiexperimentales con posttest ($n = 3$, 10%). También, se encontraron estudios N/A ($n = 1$, 3.2%) y no experimentales ($n = 1$, 3.2%).

También, los estudios fueron apoyados por una amplia variedad de instrumentos de evaluación, pruebas objetivas, actividades experimentales; encuestas de percepción, satisfacción (estudiantes), opinión (docentes) y motivación. De igual manera, emplearon instrumentos específicos: prueba práctica de física (PPT), la escala de actitud hacia la física práctica (PPAS), el test de logros prácticos en química (CPAT), el cuestionario de estrategias motivacionales para el aprendizaje (Pintrich et al., 1993), de actitud (Penichet & Mato, 1996), de motivación de materiales didácticos (Loorbach et al., 2015) y de competencias (Cobos et al., 2012).

Los estudios examinados contrastan aspectos coherentes con la focalización en el constructo rendimiento académico a causa de los SV, para lo cual se evidenció la utilización de una diversidad de instrumentos y mediciones relacionadas principalmente con los procesos de aprendizaje, ejercen una gran influencia en el aprendizaje de nuestros estudiantes.

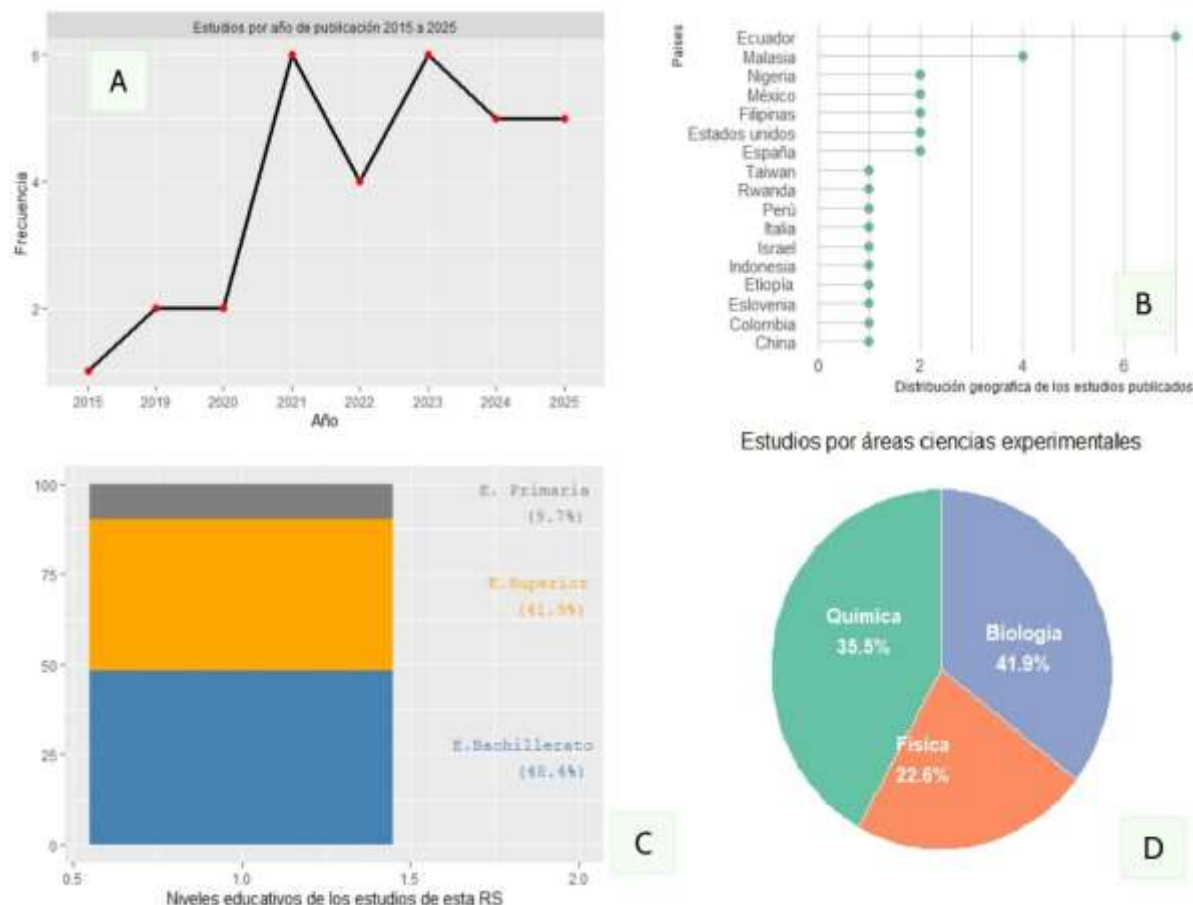


Figura 2: Indicadores bibliométricos de las investigaciones revisadas ($n = 31$)

Siguiendo con el desarrollo metodológico, se empleó el análisis del contenido, con el fin de crear una nube de palabras (NP) que visualizara los descriptores más empleados en los estudios (figura 3). También para analizar posibles asociaciones entre los términos, se utilizó la técnica de mapeo VOS (visualización de similitudes, figura 4).

En la figura 3 se observan los términos más repetidos en los resúmenes, como el *ranking* de las 20 palabras más frecuentes; se visualizan como palabras más frecuentes: estudiantes, virtuales, aprendizaje, laboratorio, experimental, química, simulación, física, enseñanza, anatomía, conocimiento, comprensión, *PhET*, entre otros; lo que corrobora la búsqueda realizada por términos clave.

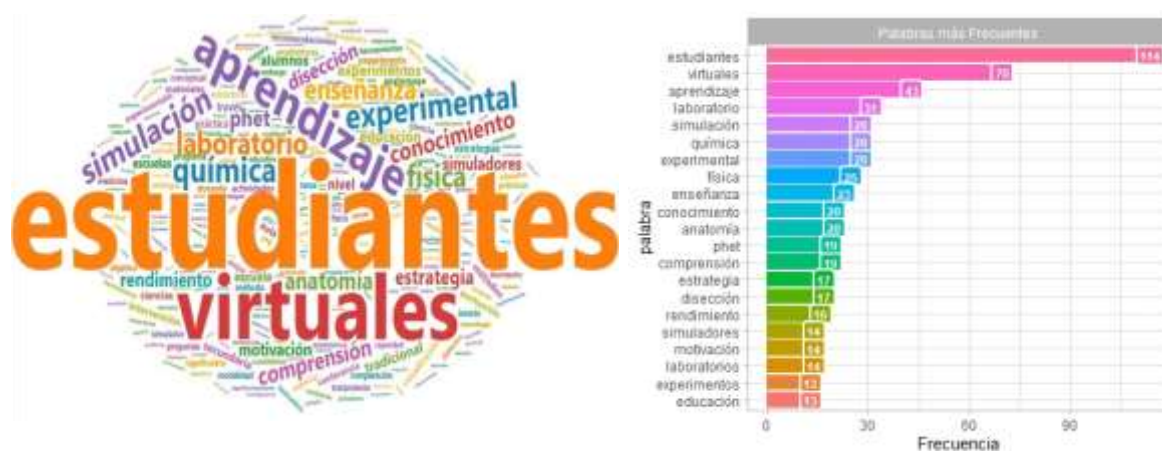


Figura 3: Nube de palabras y *ranking* de frecuencia de términos clave

- cinética química (16); electroquímica (20); volumetría y formación de sales (21); fuerzas, energías y fenómenos eléctricos (22); solubilidad (24); y reacción nuclear (31).
- Biología: Disección: humano (corazón, 29) y animales (ranas y calamares [2, 6]; cerdo (corazón, estómago, riñón) y cordero (mediastino, pulmón, hígado) [5]); Anatomía humana: general (26); específicos como plexo braquial (7); pelvis, perineo y sistema musculoesquelético (MSK) (8), cabeza y cuello (9) y antebrazo (huesos, músculos, vasos y nervios) (27). También, genética mendeliana: *Drosophila melanogaster* (13); parasitología (14); expresión genética (23) e histología (25).
 - Física: energía y trabajo (10), movimiento en una dimensión, dos dimensiones (proyectiles), circular y fuerzas (11), movimiento armónico simple y energía (17), corriente eléctrica (19) y cinemática bidimensional (28).



Figura 5: SV y sus aplicaciones en las ciencias experimentales

La pluralidad de los contenidos abordados, la diversidad de enfoques metodológicos y, en especial, la variedad de plataformas de simulación, concuerdan con lo encontrado por Kebritchi et al. (2010) y reforzado por Tüysüz (2010), quienes sostienen que la eficacia de los SV no radica únicamente en la herramienta empleada, sino en la solidez de su integración pedagógica. En la misma dirección Puicaño-Camavilca (2024) enfatiza que la integración de tecnologías digitales en el aula no constituye únicamente una alternativa a las metodologías tradicionales, sino que configura un escenario de aprendizaje más versátil, dinámico e inmersivo, donde los estudiantes no solo acceden a múltiples fuentes de información, sino que también interactúan con ellas. Esto siempre y cuando los SV estén acompañados de un diseño didáctico que potencie su uso.

EFFECTO DE LOS SV EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Los hallazgos metaanalíticos sobre el uso de SV en el aprendizaje en las ciencias experimentales ($k = 16$) incluyeron un total de 1296, compuesto por 643 participantes (GE), expuestos a SV, y 653 (GC) a metodologías tradicionales. El análisis estadístico del MA representado en el diagrama de bosque o *forest plot* que se visualiza en la figura 6, evidenció que la estimación del efecto global

favorece al GI respecto al GC (DMS = 1.73; $Z = 4.67$, $p < .001$), mostrando una oscilación de los efectos entre 1.00 y 2.45. Lo que respalda el objetivo planteado en este estudio, pues los entornos de simulación constituyen recursos eficaces para promover la comprensión conceptual, la experimentación y el aprendizaje significativo.

El *forest plot* reveló que catorce estudios favorecían al GI expuesto a SV y dos al GC. De los 16 estudios, 12 obtuvieron tamaños de efecto positivos y grandes ($DMS \geq 0.80$). Curiosamente, el mayor tamaño del efecto ($DMS = 6.37$) se observó en el estudio 15. Mientras, 2 encontraron tamaños positivos y medianos (estudios 2, 28), lo que demuestra que el aprendizaje basado en la simulación es más eficaz para mejorar el aprendizaje de los estudiantes en comparación con la instrucción tradicional (Ortiz-Velásquez et al., 2025). Solo dos obtuvieron un tamaño del efecto que puede interpretarse como sin efecto (estudios 14, 16).

En cuanto a la heterogeneidad, el MA informó resultados agrupados muy heterogéneos (Modelo Máxima verosimilitud restringida [RMEL]: $\tau^2 = 2.08$, $\tau = 1.44$; $Q = 288.87$, $gl = 15$, $p < .001$; $I^2 = 94.8\%$, $IC95\%$ [92.9%; 96.2%]). Por lo tanto, es importante interpretar estos resultados con precaución debido a la amplia variabilidad en el tamaño del efecto entre los estudios. A pesar de esto, el valor del efecto global sugiere que los SV tienen una influencia positiva en el aprendizaje de los estudiantes. Este resultado se ajusta a los resultados de los MA realizados por Santos y Prudente (2022) y Talan (2020), quienes establecieron la eficacia de las simulaciones por tener un efecto positivo y fuertemente significativo en el aprendizaje de los estudiantes.

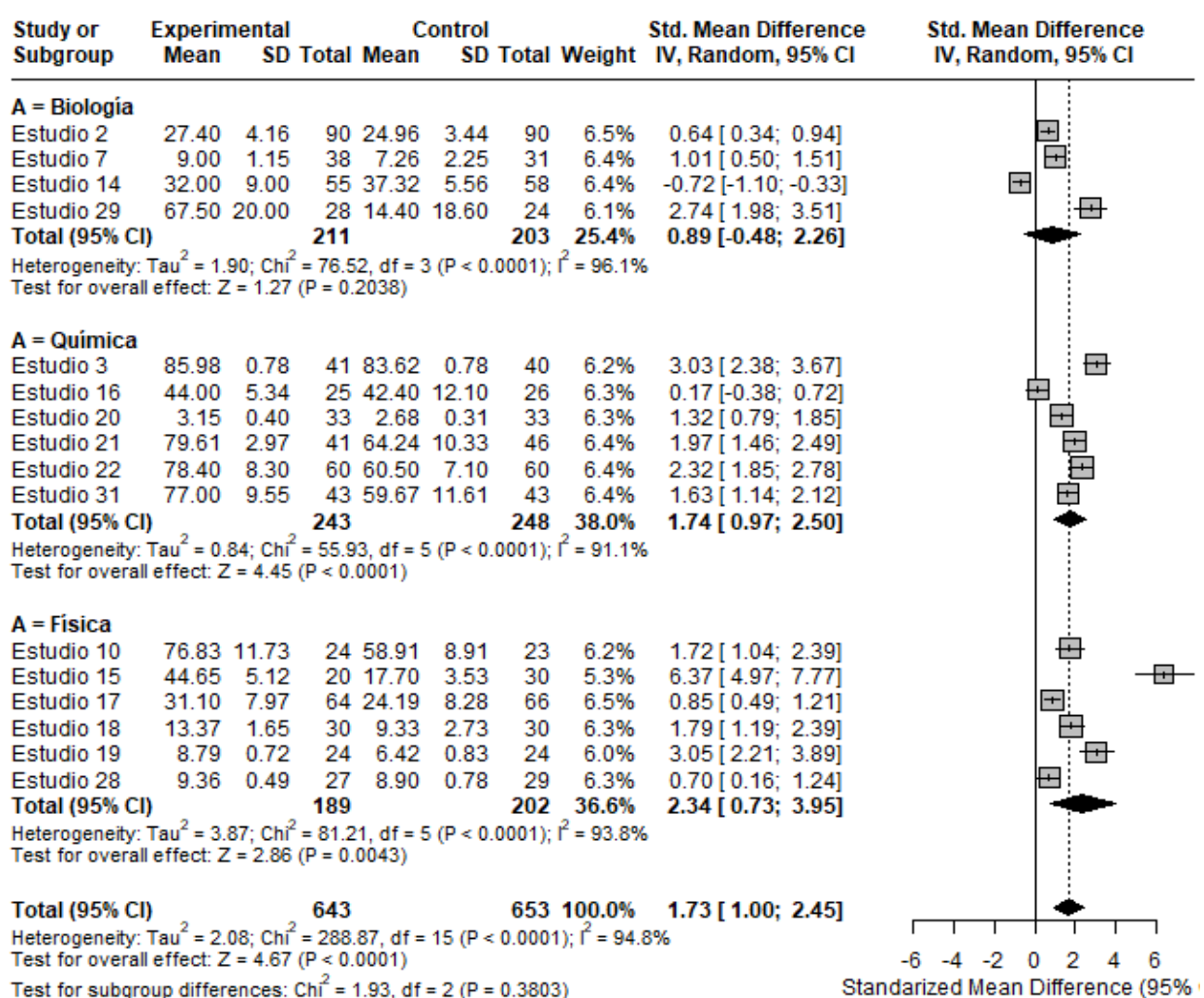


Figura 6: Efecto de SV en el aprendizaje de los estudiantes en ciencias

Respecto a los efectos por áreas experimentales, se observaron tamaños del efecto grandes en Física (DMS = 2.34), con un intervalo de confianza (IC) al 95 % [0.73, 3.95], y el efecto de las intervenciones fue significativo ($Z = 2.86$, $p < .001$). En cuanto a Química (DMS = 1.74, con un IC al 95% [0.97, 2.50], $Z = 4.45$; $p < .001$) y Biología (DMS = 0.89, con un IC al 95% [-0.48, 2.26], $Z = 1.27$; $p < .204$), los resultados indicaron una heterogeneidad alta en todos los casos ($I^2 \geq 80\%$); no se encontraron diferencias significativas ($p = .347$); este valor indica que los SV varían en función al área de las ciencias experimentales de aplicación.

En el caso de Biología, los resultados fueron moderados, posiblemente debido a la complejidad multiescala de los procesos biológicos (Paxinou et al., 2017). Lo que puede implicar que, en todas las áreas de las ciencias, los SV podrían haber mejorado el rendimiento de los estudiantes, siendo Física y Química las que más se beneficiaron.

El efecto global calculado anteriormente no puede ser considerado homogéneo y, por tanto, se debe proceder a un análisis que explique el origen de tal heterogeneidad. Como consecuencia, se aplicó un análisis *leave one out* (dejar uno afuera). El análisis mostró que los resultados de los distintos estudios son similares y, por tanto, el efecto tiene una misma dirección, magnitud y significancia estadística.

Debido a la heterogeneidad de los estudios, como elemento adicional en la tabla 3, se analizó la influencia de variables moderadoras en el efecto global, teniendo en cuenta la región, nivel educativo, metodología, tipo de simulación y duración del tratamiento.

Tabla 3: Análisis de moderadores

Moderador	k	Tamaño efecto	IC 95%		I ²
			Inferior	Superior	
Región			Q(2) = 3.03, p = .2194		
Asia	6	1.10	0.2740	1.9276	95.1%
América	6	2.11	1.2791	2.9467	91.3%
África	4	2.19	-0.4788	4.8685	95.8%
Nivel educativo			Q(2) = 7.61, p = .0222		
Bachillerato	12	1.80	0.9810	2.5838	92.3%
Primaria	1	3.03	2.3826	3.6390	—
Superior	3	0.99	-0.9613	2.9376	97.3%
Área experimental			Q(2) = 1.94, p = .379		
Biología	4	0.89	-0.4829	2.2643	96.1%
Química	6	1.74	0.9702	2.5003	91.1%
Física	6	2.34	0.7349	3.9494	93.8%
Tipo de simulación			Q(3) = 57.11, p = .001		
Disección	2	0.76	0.4240	1.1034	33.1%
Laboratorio	6	2.69	1.2339	4.1392	94.2%
Simulador	7	1.56	0.8568	2.2604	89.6%
Realidad Virtual	1	-0.72	-1.0963	-0.3348	—
Metodología			Q(2) = 8.66, p = .0132		
Mixto	3	0.62	0.2071	1.0315	58.5%
Cuantitativo	12	2.10	1.2025	2.9927	95.5%
N/A	1	0.85	0.4906	1.2091	—
Tiempo de intervención			Q (3) = 16.83, p = .001		
3 – 6 meses	4	2.15	1.0752	3.1887	96.0%
0 – 1 mes	3	0.53	-0.7247	1.7555	95.9%
6 – 12 meses	1	0.17	-0.3801	0.7200	—
N/A	8	2.18	1.0310	3.3324	91.8%

Respecto a la región, el análisis reveló que los SV mejoraban el aprendizaje de alumnos, independientemente del lugar en que se hubiera realizado el estudio. Se comprobó que el efecto era mayor en África (DMS = 2.19), seguido de América (DMS = 2.11) y Asia (DMS = 1.10); no se observaron diferencias significativas entre los tamaños del efecto ($p = .219$).

En cuanto al nivel de estudios, se observó que el uso de SV tuvo un efecto positivo y mayor en alumnos de bachillerato (DMS = 1.80) que en los niveles de educación superior (DMS = 0.99); se encontraron diferencias significativas ($p = .022$). Esto explica que los SV varía en función del país y el nivel educativo. Como señalan Merchant et al. (2013), en muchos contextos educativos los SV representan recursos novedosos y poco comunes que llevan a la curiosidad de los estudiantes en todos los niveles educativos en especial donde hay abundancia de recursos digitales.

En relación con el tipo de simulación, los resultados de los laboratorios tienen un mayor efecto en la enseñanza de las ciencias (DMS = 2.69), seguido de los simuladores (DMS = 1.56) y disección (DMS = 0.76); se observaron diferencias significativas ($p = .11$). Estos resultados evidencian que la eficacia de los SV depende de los objetivos de aprendizaje y el tipo de recurso empleado. Para Reyes-Pozo et al. (2025) la idoneidad constructivista de los SV funciona como guías visuales que favorece la construcción de modelos mentales claros y refuerza la seguridad del estudiante frente a los retos de la ciencia.

Asimismo, las investigaciones con enfoque cuantitativo alcanzaron un efecto grande (DMS = 2.10), mientras que aquellas con enfoques mixtos reportaron un efecto moderado (DMS = 0.62); se observaron diferencias significativas ($p = .013$). Esto indica que los resultados varían según el diseño metodológico: los estudios cuantitativos con mediciones directas (pruebas de rendimiento, habilidades observables) suelen mostrar efectos más elevados que aquellos que incluyen percepciones, actitudes o experiencias, como ocurre en los enfoques mixtos (Yang et al., 2024).

En cuanto a la duración de las intervenciones, los programas que utilizaron SV durante 3-6 meses tuvieron el mayor efecto (DMS = 2.15). Mientras que las implementadas durante semanas a un mes produjeron tamaños medianos de DMS = 0.53. Sin embargo, en algunos estudios no indicaron la duración, pero obtuvieron un efecto grande (DMS = 2.18); se observaron diferencias significativas ($p = .001$). Estos hallazgos sugieren que, aunque la eficacia de los SV puede variar con la duración, los estudiantes pueden seguir logrando cambios significativos en su aprendizaje independientemente del tiempo, en comparación con la enseñanza presencial.

De acuerdo con Tong et al. (2022), las sesiones con una duración de 11 a 30 minutos tuvieron efecto mayor en la adquisición de conocimientos. Sin embargo, las sesiones superiores a 30 minutos mostraron un tamaño de efecto más pequeño, que sugiere que la duración óptima de la intervención influye en los resultados de aprendizaje.

HETEROGENEIDAD Y RIESGO DE SESGO DE LOS ESTUDIOS INCLUIDOS

Como se indicó, hay evidencia de heterogeneidad entre los estudios, 9 de los 16 estudios (2, 3, 14, 15, 16, 19, 21, 22, 29; ver figura 7A) se encuentran fuera de la región sombreada, que es la que más contribuye a la heterogeneidad, por caer fuera de la banda de confianza. Si no se tienen en cuenta estas investigaciones, un nuevo cálculo del tamaño del efecto global da como resultado un tamaño del efecto 1.23, IC 95% [0.92; 1.56], $Z = 7.61$; $p < .0001$. La repetición del análisis sin estos estudios produce un resultado significativo ($Q(6) = 16.10$; $p = 0.013$), y una heterogeneidad menor ($I^2 = 62.7\%$).

Con el objetivo de identificar posible sesgo de publicación en la muestra de los estudios recolectados, estos fueron representados en un gráfico de embudo *funnel plot* (Figura 7B). En dicho gráfico se ilustra cómo se distribuyen los estudios de acuerdo con la precisión (SD) y su tamaño del efecto estimado. La correspondiente prueba de Begg ($p = .013$) y de Egger ($p = .001$), empleadas para probar la existencia o no de simetría, arrojaron valores de p significativos,

estadísticamente impiden rechazar la hipótesis nula (existencia de simetría), por lo cual se aprecia sesgo de publicación en el conjunto de estudios seleccionados.

Este comportamiento sugiere que la mayoría de las investigaciones incluidas reportan resultados favorables a la aplicación de los SV (concentración hacia el lado izquierdo del eje central). Asimismo, la dispersión de los diversos estudios en el extremo derecho de la línea de no efecto evidencia una distribución asimétrica en términos tanto del tamaño del efecto (eje X) como de la precisión de las estimaciones (eje Y), lo cual podría estar asociado al elevado grado de heterogeneidad entre los estudios analizados.

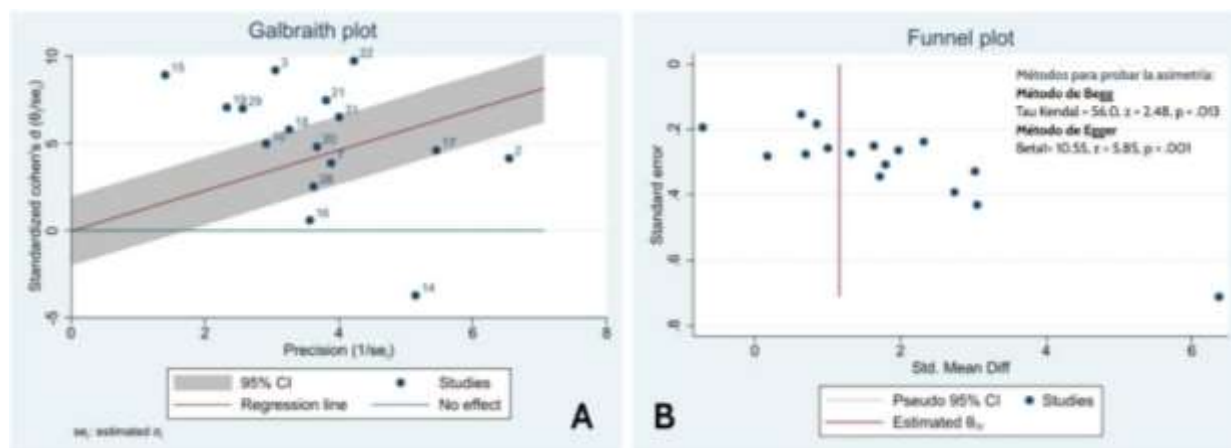


Figura 7: Análisis de heterogeneidad (*Galbraith plot*) y evaluación del sesgo (*funnel plot*) de publicación

En lo referente al sesgo de publicación, el análisis estimó que los estudios publicados tienden a reportar con mayor frecuencia resultados favorables a los SV. Esta situación coincide con otros MA en el ámbito STEM, que advierte que publicaciones con resultados nulos o negativos, consecuentemente, da un riesgo de sesgo sobre la estimación del efecto global (Cao et al., 2025). Estas limitaciones no invalidan los beneficios observados, pero señalan la necesidad de un diseño más riguroso y de una integración pedagógica más estratégica para consolidar el papel de los SV en la educación científica actual.

LIMITACIONES DEL ARTÍCULO

Los resultados de esta revisión presentan algunas limitaciones. En primer lugar, se evidenció la necesidad de contar con más estudios sobre SV en ciencias que reporten de manera detallada las intervenciones, a fin de fortalecer futuros MA. Además, el análisis se centró únicamente en medidas de rendimiento académico (aprendizaje), lo que redujo el número de trabajos elegibles e impidió valorar otros factores relevantes como los actitudinales o motivacionales frente al uso de experimentos virtuales.

Para investigaciones futuras se recomienda ampliar el foco hacia estos factores, así como explorar la satisfacción o habilidades, lo que permitiría reunir una mayor cantidad de estudios y al mismo tiempo, determinar un constructo más general y de mayor impacto para la comunidad educativa internacional. Además, se invita a la comunidad académica y docente a fortalecer investigaciones en el área de biología, puesto a que la disponibilidad de estudios en esta revisión fue baja.

CONCLUSIONES

La RS ha observado un crecimiento constante en la producción científica relacionada con los SV durante la última década, destacando su papel emergente como herramienta de interacción para

aprender ciencias. Asimismo, se percibió el empleo de una amplia gama de plataformas y modelos de simulación, utilizados para la representación de una variedad de contenidos de física, química y biología. Sin embargo, la diversidad de simuladores, la variabilidad en los enfoques metodológicos asumidos y las diferencias en los instrumentos de evaluación presentaron una debilidad metodológica en todos los estudios.

El MA confirma un efecto global grande y significativo de los SV sobre el aprendizaje conceptual y práctico, que valida su efecto sobre las metodologías tradicionales. Esto validó la hipótesis de que las intervenciones basadas en SV generan resultados de aprendizaje significativamente mejores en comparación con las intervenciones tradicionales. No obstante, la amplitud de los estudios y la heterogeneidad observada advierten que estos resultados no son uniformes, y que su efectividad depende de factores contextuales y disciplinarios: Física y Química presentan mayores beneficios, mientras que Biología muestra resultados más moderados; los programas de mediana duración y los niveles de bachillerato se consolidan como los más favorecidos.

Más allá de su dimensión tecnológica, el papel de los SV trasciende ser un simple medio de comunicación, sino que es un complemento paralelo a los laboratorios reales donde los estudiantes pueden explorar, experimentar, manipular variables y observar resultados semejantes al real, convirtiendo la simulación en una experiencia de aprendizaje interactiva, dinámica y significativa. Sin embargo, su efectividad no reside únicamente en la herramienta, sino en cómo se contextualiza y se diseña su implementación.

Independientemente de las conclusiones derivadas del presente estudio, el sesgo reveló un patrón de publicación favorable a los SV, evidenciado en la asimetría del *funnel plot* y el valor de las pruebas de Egger y Begg, que sugieren que la literatura científica podría estar sobrestimando el efecto de los SV debido a que las aportaciones científicas con resultados nulos, que relacionan el uso de SV y el rendimiento académico, fueron escasas.

Finalmente, los resultados de este MA sugieren que los docentes pueden integrar SV como complemento a la enseñanza y a los laboratorios tradicionales, especialmente en Física y Química. La implementación de intervenciones cuidadosamente contextualizadas y programas de mediana duración optimiza de manera significativa el aprendizaje conceptual y práctico de los estudiantes, contribuyendo a experiencias educativas más efectivas y fundamentadas.

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES: El autor declara no tener conflictos de interés.

DECLARACIÓN DE DISPONIBILIDAD DE DATOS: El autor declara que los datos y las investigaciones utilizadas en el estudio ejecutado se encuentran disponibles y sin restricciones de acceso para ser analizados por los interesados en el repositorio: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.29583326>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bernal-García, M., Quemba-Mesa, M., Silva-Ortiz, S., & Pacheco-Olmos, B. (2022). Laboratorios tradicionales versus nuevas tecnologías para el estudio de anatomía humana en estudiantes de medicina: revisión sistemática y metaanálisis. *International Journal of Morphology*, 40(1), 30-36. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022022000100030>
- Botella, J., & Zamora, Á. (2017). El metaanálisis: una metodología para la investigación en educación. *Educación XX1*, 20(2), 17-38. <https://doi.org/10.5944/educxx1.19030>
- Bruner, J. S. (1974). *Toward a theory of instruction*. Harvard University Press.
- Campos, G., & Benarroch, A. (2024). Laboratorios virtuales para la enseñanza de las ciencias: una revisión sistemática. *Enseñanza de las Ciencias*, 42(2), 109-129. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6040>
- Cao, X., Lu, H., Wu, Q., & Hsu, Y. (2025). Systematic review and meta-analysis of the impact of STEM education on students learning outcomes. *Frontiers in Psychology*, 16, 1579474. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1579474>

- Carbajal-Destre, P., Rodríguez-Barboza, J. R., Palacios-Garay, J., Ávila-Sánchez, G. A., & Cadenillas-Albornoz, V. (2022). Gamificación como técnica de motivación en el nivel superior. *Horizontes*, 6(23), 484-496. <https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v6i23.351>
- Carrizo, N. (2021). ¿Cómo pueden aportar las tecnologías inmersivas a la educación ambiental? *Electronic Journal of SADIO*, 20(2), 84-97. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/135623>
- Cobos, D., Jaén, E. L., López, E., Martín, A. H., & Molina, L. (2012). *I Congreso Virtual Internacional sobre Innovación Pedagógica y Praxis Educativa Innovagología 2012*. AFOE. <https://acortar.link/IgMEG0>
- Cohen, J. (2013). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2.^a ed.). Routledge.
- Cueva, J. L., García, A., & Martínez, O. A. (2019). El conectivismo y las TIC: un paradigma que impacta el proceso enseñanza aprendizaje. *Revista Cientific*, 4(14), 205-227. <https://doi.org/10.29394/Scientific.issn.2542-2987.2019.4.14.10.205-227>
- D'Angelo, C., Harris, C., & Rutstein, D. (2013). Systematic review and meta-analysis of STEM simulations. En N. Rummel, M. Kapur, M. Nathan, & S. Puntambekar. (Eds.), *To see the world and a grain of sand: learning across levels of space, time, and scale: CSCL 2013 conference proceedings vol. 2-short papers, panels, posters, demos & community events*, (pp. 239-240). ISLS. <https://acortar.link/xSorPX>
- D'Angelo, C., Rutstein, D., Harris, C., Bernard, R., Borokhovski, E., & Haertel, G. (2014). Simulations for STEM learning: systematic review and meta-analysis. *Menlo Park: SRI International*, 5(23), 1-5. <https://acortar.link/ZkJvqv>
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91-108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Hernández, G. (2012). Enseñanza experimental. ¿cómo y para qué? *Educación Química*, 23, 92-94. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30139-8](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30139-8)
- Higgins, J. P. T. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ*, 327(7414), 557-560. <https://doi.org/10.1136/bmj.327.7414.557>
- Kartimi, K., Yunita, Y., Addiin, I., & Shidiq, A. S. (2022). A bibliometric analysis on chemistry virtual laboratory. *Educación Química*, 33(2), 194-208, 1-31. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2022.2.80579>
- Kebritchi, M., Hirumi, A., & Bai, H. (2010). The effects of modern mathematics computer games on mathematics achievement and class motivation. *Computers & Education*, 55(2), 427-443. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.02.007>
- Li, J., & Liang, W. (2024). Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: A meta-analysis. *PLOS One*, 19(12), e0316269. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316269>
- Loorbach, N., Peters, O., Karreman, J., & Steehouder, M. (2015). Validation of the instructional materials motivation survey (IMMS) in a self-directed instructional setting aimed at working with technology. *British Journal of Educational Technology*, 46(1), 204-218. <https://doi.org/10.1111/bjet.12138>
- Lorenzo, G. (2022). Análisis de la producción científica en el uso de la realidad virtual en la educación a partir de la estructura conceptual, social e intelectual. *Revista de Educación a Distancia*, 22(69), 1-31. <https://doi.org/10.6018/red.502601>
- Martínez, A. G. (2005). La enseñanza problemática de las Ciencias Naturales. *Revista Iberoamericana de Educación*, 36(6), 1-23. <https://doi.org/10.35362/rie3662785>
- Mengist, W., Soromessa, T., & Legese, G. (2020). Method for conducting systematic literature review and meta-analysis for environmental science research. *MethodsX*, 7, 100777. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.100777>
- Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W., & Davis, T. J. (2013). Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education*, 70, 29-40. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033>

- Ortiz-Velásquez, N., Valencia-Cabrera, Y., Campoverde-Martínez, G., Flores-Cumbicus, R., & Núñez-Naranjo, A. (2025). El uso de simuladores digitales para la enseñanza de ciencias sociales. *Digital Publisher CEIT*, 10(1-2), 97-112. <https://doi.org/10.33386/593dp.2025.1-2.2960>
- Paxinou, E., Zafeiropoulos, V., Sypsas, A., Kiourt, C., & Kalles, D. (2017). *Assessing the Impact of Virtualizing Physical Labs* (Versión 1). arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.1711.11502>
- Penichet, A., & Mato, M. C. (1996). Las actitudes del alumnado de educación secundaria hacia las ciencias experimentales. *Alambique*, 9, 131-138. <https://acortar.link/SRmkyT>
- Pintrich, P. R., Smith, D. A. F., Garcia, T., & McKeachie, W. J. (1993). Reliability and predictive validity of the motivated strategies for learning questionnaire (MSLQ). *Educational and Psychological Measurement*, 53(3), 801-813. <https://acortar.link/EI3y6k>
- Puicaño-Camavilca, A. L. (2024). Las TIC y su influencia en el aprendizaje significativo en una institución educativa peruana. *Horizontes*, 8(32), 225-235. <https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v8i32.718>
- Reyes-Pozo, G. S., Correa-Asencio, E. I., Pauchi-Alvarado, L. M., Orrala-Bacilio, C. V., & Aquino Suarez, G. I. (2025). Uso de laboratorios virtuales como recurso didáctico para potenciar la enseñanza y el aprendizaje de ciencias naturales. *Reincisol*, 4(7), 3264-3281. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V4\(7\)3264-3281](https://doi.org/10.59282/reincisol.V4(7)3264-3281)
- Ronilo, A., & Castro, R. R. (2023). Effectiveness of virtual simulations in improving secondary students' achievement in physics: a meta-analysis. *International Journal of Instruction*, 16(2), 533-556. <https://doi.org/10.29333/iji.2023.16229a>
- Rosli, R., & Ishak, N. A. (2024). Integration of virtual labs in science education: a systematic literature review. *Jurnal Pendidikan Sains dan Matemaik Malaysia*, 14(1), 81-103. <https://doi.org/10.37134/jpsmm.vol14.1.8.2024>
- Sánchez-Meca, J. (2022). Revisiones sistemáticas y meta-análisis en educación: un tutorial. *Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*, 13, 5-40. <https://doi.org/10.6018/riite.545451>
- Santos, M. L., & Prudente, M. (2022). Effectiveness of virtual laboratories in science education: a meta-analysis. *International Journal of Information and Education Technology*, 12(2), 150-156. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2022.12.2.1598>
- Talan, T. (2020). The effect of simulation technique on academic achievement: a meta-analysis study. *International Journal of Technology in Education and Science*, 5(1), 17-36. <https://doi.org/10.46328/ijtes.141>
- Tong, L. K., Li, Y. Y., Au, M. L., Wang, S. C., & Ng, W. I. (2022). High-fidelity simulation duration and learning outcomes among undergraduate nursing students: a systematic review and meta-analysis. *Nurse Education Today*, 116, 105435. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2022.105435>
- Tüysüz, C. (2010). The effect of the virtual laboratory on students' achievement and attitude in chemistry. *International Online Journal of Educational Sciences*, 2(1), 37-53. <https://tinyurl.com/mvwjjnvw>
- Uslu-Sahan, F., Bilgin, A., & Ozdemir, L. (2023). Effectiveness of virtual reality simulation among bsn students: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Computers, Informatics, Nursing*, 41(11), 921-929. <https://doi.org/10.1097/CIN.0000000000001059>
- Villalobos-Molero, Á., & Romero-Alonso, R. (2023). Laboratorios remotos en educación superior: una revisión bibliográfica sistematizada. *TE&ET*, 35, 58-68. <https://doi.org/10.24215/18509959.35.e7>
- Yaipén-Gonzales, H. F., Joo, L. A. P., Montenegro-Camacho, L., Soto, R. M. H., Cassano, P. P. G. D., & Mejia, P. J. C. (2023). Virtual simulators in the teaching-learning of chemistry and physics: a systematic review of the literature. *International Journal of Membrane Science and Technology*, 10(4), 632-641. <https://doi.org/10.15379/ijmst.v10i4.2109>

- Yang, C., Zhang, J., Hu, Y., Yang, X., Chen, M., Shan, M., & Li, L. (2024). The impact of virtual reality on practical skills for students in science and engineering education: a meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 11(28), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00487-2>
- Zárate-Moedano, R., Canchola-Magdaleno, S. L., & Suarez-Medellín, J. (2022). Estrategias didácticas y tecnología utilizada en la enseñanza de las ciencias. Una revisión sistemática. *IE Revista de Investigación Educativa de la REDIECH*, 13, e1396. https://doi.org/10.33010/ie_rie_rediech.v13i0.1396
- Zaturrahmi, Z., Festiyed, F., & Ellizar, E. (2020). The utilization of virtual laboratory in learning: a meta-analysis. *Indonesian Journal of Science and Mathematics Education*, 3(2), 228-236. <https://doi.org/10.24042/ij sme.v3i2.6474>

Notas

¹ Formato para estructurar una pregunta en educación (Sánchez-Meca., 2022): P, participante; I, intervención; C, grupo de comparación; O, *outcome* (resultado); y S, diseño del estudio.