



Laboratorios virtuales para la enseñanza de las ciencias: una revisión sistemática

Virtual Laboratories for Science Education: a Systematic Review

Gabriela Campos Mera
Universidad Central del Ecuador
gabcampos@correo.ugr.es

Alicia Benarroch Benarroch
Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte de Melilla.
Universidad de Granada. Melilla, España
aliciabb@ugr.es

RESUMEN • Se ha realizado una revisión sistemática, adoptando el modelo de Newman y Gough y las directrices de la declaración PRISMA, con el objetivo de caracterizar la producción científica sobre laboratorios virtuales en la enseñanza de las ciencias experimentales en educación secundaria. Se pretendió dar respuesta a seis preguntas de investigación sobre los laboratorios virtuales. La búsqueda se realizó en tres bases de datos: Scopus, ERIC y WoS. Se identificaron 221 artículos, de los cuales fueron seleccionados 38, por cumplir con todos los criterios de inclusión. Los hallazgos dan cuenta de que, en las investigaciones, el laboratorio virtual más frecuente es PhET; la asignatura más abordada es la Física y la edad más analizada son los 16 años. Además, se encontró que el uso de laboratorios virtuales arrojaba resultados positivos en la mayor parte de los casos en los que fueron aplicados.

PALABRAS CLAVE: Laboratorios virtuales; Ciencias experimentales; Revisión sistemática; Educación secundaria.

ABSTRACT • A systematic review has been carried out, adopting Newman and Gough's model and the guidelines of the PRISMA statement, with the aim of characterising the scientific production on virtual laboratories in the teaching of experimental sciences in secondary education. The aim was to answer six research questions on virtual laboratories. The search was carried out in three databases: Scopus, ERIC and WoS. A total of 221 articles were identified, of which 38 were selected as they met all the inclusion criteria. The findings show that the most frequent virtual laboratory used in the research is PhET, the most common subject is Physics, and the most analyzed age group is 16 years old. Furthermore, it was found that the use of virtual laboratories yielded positive results in most of the cases in which they were applied.

KEYWORDS: Virtual laboratories; Experimental sciences; Systematic review; Secondary education.

Recepción: septiembre 2023 • Aceptación: abril 2024 • Publicación: junio 2024

Campos Mera, G. y Benarroch 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>

INTRODUCCIÓN

Al hablar de ciencias experimentales, la práctica de laboratorio es esencial para enseñar a los estudiantes la práctica científica, incluidos el diseño experimental, la recopilación y el análisis de datos, así como la elaboración de conclusiones basadas en la evidencia (Chua y Karpudewan, 2017). Según Onyesolu (2009), el aprendizaje de las ciencias se ha visto frenado por la deficiencia o inadecuación del equipo de laboratorio en las escuelas. Desde este punto de vista, existe la necesidad de un nuevo entorno de laboratorio alternativo para que los estudiantes realicen experimentos de forma segura y flexible (Faour y Ayoubi, 2018). Una de las soluciones que puede ayudar a superar estos obstáculos es el uso de laboratorios virtuales.

Para Aldrich (2005), los laboratorios virtuales son un tipo de simuladores que emulan a los laboratorios reales. Según la Unesco (2000), se puede definir un laboratorio virtual como un «espacio electrónico de trabajo concebido para la colaboración y la experimentación a distancia cuyo objetivo es investigar o ejecutar otras actividades creativas, y elaborar y difundir resultados mediante las tecnologías de información y comunicación» (p. 3). En la literatura suele existir ambigüedad entre los términos «simuladores» y «laboratorios virtuales». Algunas investigaciones utilizan estos términos indistintamente, mientras que otras destacan diferencias claras, dependiendo del contexto cultural y educativo en el que se utilizan estas herramientas. Por esta razón, en el presente estudio, al hablar de laboratorios virtuales, se hace referencia a simuladores que permiten emular experimentos de algún tipo en las asignaturas de ciencias.

Los laboratorios virtuales empezaron su desarrollo en el año 1997, en el centro de investigación académica de la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica, por lo que se convirtieron en los primeros laboratorios virtuales para enseñanza a distancia a nivel mundial (Torres, 2017).

En la actualidad, los laboratorios virtuales son considerados herramientas útiles para profesores y estudiantes en todos los niveles educativos (Sharifov, 2020). Ofrecen importantes ventajas, como el ahorro de tiempo y dinero, la posibilidad de experimentar sin riesgos y la flexibilidad de horarios y ubicación (Angreani et al., 2022). Asimismo, según Herga et al. (2014), en la asignatura de Química permiten a los estudiantes obtener una visión general a nivel macroscópico, submicroscópico y simbólico, de máximo interés para incrementar su comprensión en esta área.

En la asignatura de Biología, los laboratorios virtuales permiten a los estudiantes la ejecución de experimentos que de otro modo no serían posibles o atentarían contra las formas de vida, como la disección u observación de los sistemas fisiológicos y las interrelaciones de los animales (Akpan, 2001). En el ámbito de la Física, los laboratorios virtuales permiten visualizar fenómenos invisibles en entornos reales, como las líneas del campo magnético, y también realizar cambios en las variables estudiadas, para observar y contrastar los diferentes resultados obtenidos (Potkonjaka et al., 2016). Por su parte, en la asignatura de Geología, los laboratorios virtuales permiten reemplazar eficazmente las condiciones geológicas de alto riesgo, ambientes extremos u operaciones inaccesibles e irreversibles, como la radiación. Además, complementan y consolidan la práctica de campo (Weifan et al., 2020).

En todas las asignaturas de ciencias experimentales, los laboratorios virtuales permiten a los estudiantes vincular procesos no observables con fenómenos observables, fomentando el pensamiento crítico y la abstracción en los estudiantes. Además, pueden permitir a los estudiantes investigar conjeturas no viables en experimentos físicos, por ejemplo, cambiar el campo magnético de la Tierra, variar la acumulación de gases de efecto invernadero o estudiar el impacto de la frecuencia cardíaca y la presión arterial extremas (De Jong et al., 2013). En general, por tanto, es posible afirmar que los laboratorios virtuales ayudan a relacionar el comportamiento real de la naturaleza con las explicaciones teóricas y abstractas del conocimiento científico.

Otra de las ventajas de los laboratorios virtuales es que aumentan la motivación de los alumnos al ofrecerles la oportunidad de aprender de sus errores, los convierte en aprendices activos y les brinda la oportunidad de aprender a su propio ritmo para comprender conceptos científicos difíciles (Ojo y Owolabi, 2020).

Con respecto al uso de laboratorios virtuales, se han elaborado varias revisiones sistemáticas y bibliográficas. Por ejemplo, Raman et al. (2022) realizaron una revisión histórica y un análisis bibliométrico de publicaciones sobre laboratorios virtuales en educación superior. Zaturrahmi et al. (2020) realizaron un metanálisis de los laboratorios virtuales para identificar las variables que se ven influenciadas por su uso en el aprendizaje y los campos científicos abordados. Por su parte, Fadda et al. (2022) realizaron una revisión sistemática de segundo orden sobre la eficacia de los laboratorios virtuales y remotos en la educación STEM en la escuela secundaria. De igual forma, Chan et al. (2021) realizaron también una revisión sistemática sobre los laboratorios virtuales, esta vez específica para la asignatura de Química, en la que analizaron qué elementos se consideran importantes en términos de tecnología y diseño instruccional para el uso de estas herramientas. Asimismo, Sypas y Kalles (2018) realizaron una revisión de la literatura sobre las aplicaciones de los laboratorios virtuales en una variedad de entornos educativos relacionados con la Biología, Biotecnología y Química. Por su parte, Ali et al. (2022) realizaron una revisión sistemática de la literatura en la que describieron las contribuciones potenciales de los laboratorios científicos interactivos existentes para Física, Química y Biología. También Sapriati et al. (2023) realizaron una revisión sistemática sobre el impacto del uso de los laboratorios virtuales en el aprendizaje autorregulado de los estudiantes.

Si bien se reconoce el avance que suponen las aportaciones mencionadas anteriormente, queda pendiente el análisis de cuáles son los principales laboratorios utilizados en general en la enseñanza de las ciencias experimentales, los contenidos y edades que abordan y qué tecnología utilizan los laboratorios virtuales de otras asignaturas de ciencias diferentes a la Química, por lo que se pretende abordar estos aspectos en el presente artículo.

El objetivo de esta investigación es caracterizar la producción científica sobre laboratorios virtuales en la enseñanza de las ciencias experimentales en educación secundaria. Para dar respuesta a este objetivo general, se han planteado las siguientes preguntas de investigación sobre laboratorios virtuales:

- PI-1. ¿Cuáles son los laboratorios más investigados para la enseñanza de las ciencias experimentales?
- PI-2. ¿Cuáles son las asignaturas más abordadas en las investigaciones sobre laboratorios virtuales?
- PI-3. ¿Qué contenidos se han abordado en las investigaciones sobre laboratorios virtuales?
- PI-4. ¿Cuál es la tecnología utilizada para ejecutar los laboratorios virtuales investigados?
- PI-5. ¿Qué edades son las más abordadas en la aplicación de los laboratorios virtuales investigados?
- PI-6. ¿Qué resultados se han obtenido aplicando los laboratorios virtuales investigados para la enseñanza de las ciencias experimentales?

MÉTODO

Se desarrolló una revisión sistemática para recopilar y sintetizar los hallazgos de los estudios individuales y responder a las preguntas de investigación. Para ello, se adoptó el modelo de Newman y Gough (2020), que consta de las siguientes etapas: formulación de la pregunta de investigación, definición de un marco conceptual, construcción de los criterios de inclusión, desarrollo de las estrategias de búsqueda, selección de los artículos utilizando los criterios de inclusión, codificación, evaluación de los estudios, síntesis de los resultados para responder la pregunta de investigación y reporte de hallazgos.

Para apoyar el proceso de revisión sistemática se utiliza la guía para la publicación de revisiones sistemáticas PRISMA 2020 (Page et al., 2021).

La revisión de la literatura se realizó durante los meses de marzo a mayo de 2023. Las bases de datos consideradas en este estudio son las bases de datos de producción científica internacional más relevantes en el ámbito de la investigación educativa. Son las siguientes:

- Scopus de Elsevier.
- Educational Resource Information Center (ERIC), del Departamento de Educación de Estados Unidos de América.
- Web of Science (WoS), de Clarivate Analytics.

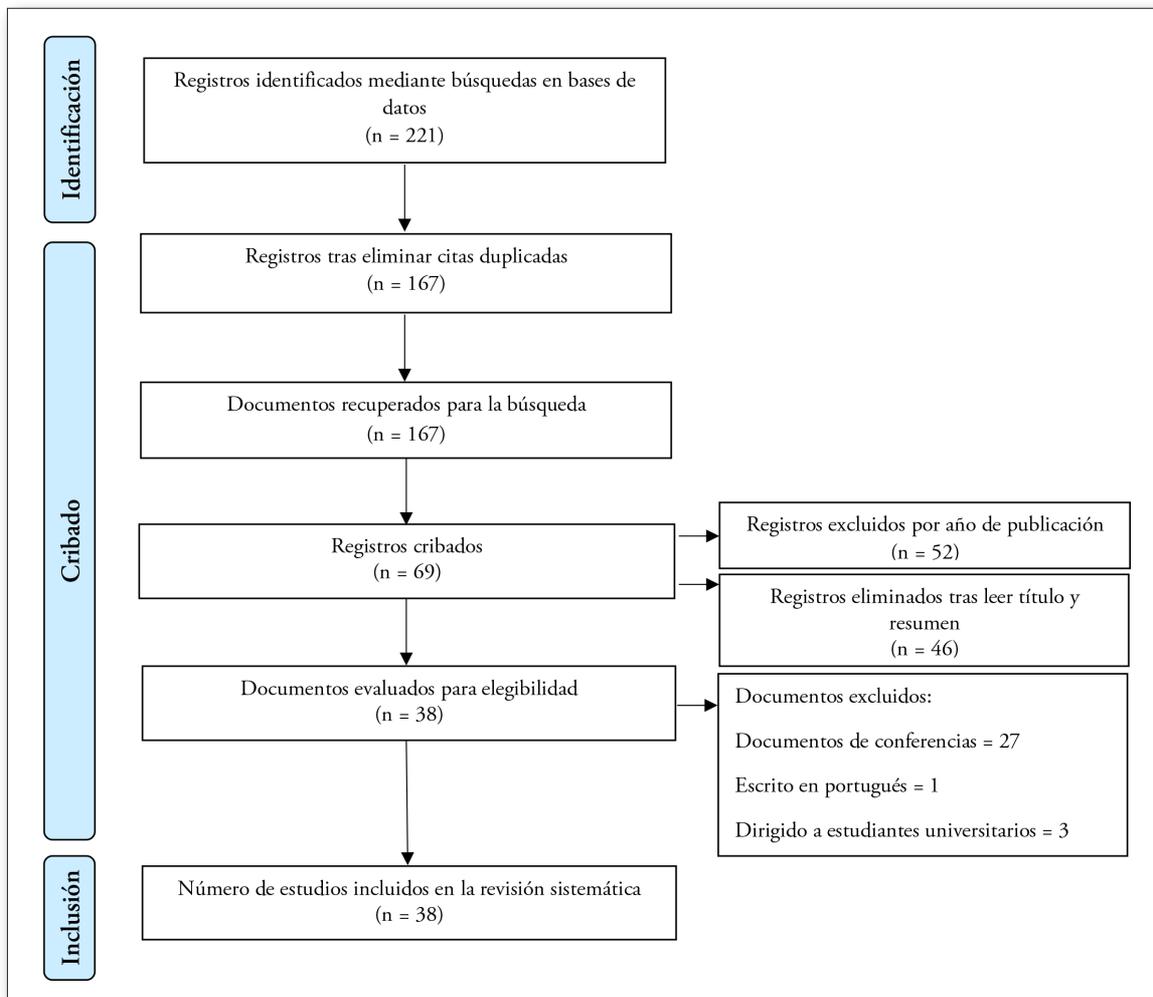


Fig. 1. Diagrama de flujo, según la declaración PRISMA.

Las cadenas o ecuaciones de búsqueda utilizadas se muestran en la tabla 1. En las ecuaciones de búsqueda se utilizó el término clave «virtual laboratory» o «virtual laboratories», y no el término «simulators», para filtrar aquellos simuladores que permitan emular la experimentación de algún tipo en las asignaturas de ciencias experimentales.

De esta forma, la búsqueda inicial proporcionó 221 documentos. En la primera etapa se eliminaron citas duplicadas (54), y quedaron como resultado 167 documentos; posteriormente, de acuerdo con

los criterios de inclusión, se filtró por año de publicación (52) y se cribaron registros tras leer el título y resumen (46), con lo que quedaron 69 artículos. Posteriormente, se analizaron los 69 documentos a texto completo utilizando los siguientes criterios de inclusión:

1. Artículos publicados entre el año 2015 y el año 2023 (ambos años inclusive).
2. Artículos escritos en inglés (ámbito internacional) o español (ámbito iberoamericano).
3. Artículos en las bases de datos establecidas, excluyéndose los *proceeding papers* o documentos de conferencias, ya que se entiende que estos últimos son documentos que no siempre recogen investigaciones finalizadas.
4. Artículos que incluyan estudios empíricos o programas de intervención, propuestas didácticas o innovaciones que utilicen laboratorios virtuales.
5. Artículos que impliquen el trabajo con laboratorios virtuales en las áreas de Física, Química, Biología y Geología (se excluyen las restantes áreas).
6. Artículos dirigidos a estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato.

Sobre la base de estos criterios se descartaron 27 documentos de conferencias, un artículo escrito en portugués y tres artículos dirigidos a estudiantes universitarios, lo que dio como resultado 38 artículos que se incluyen dentro de la revisión sistemática (figura 1)

Tabla 1.
Protocolo de búsqueda

Base de datos	Ecuación	Resultados
Scopus	TITLE-ABS-KEY («virtual laboratory») AND TITLE-ABS-KEY («experimental science» OR physics* OR chemistry* OR biology* OR geology*) AND TITLE-ABS-KEY («secondary school» OR «secondary education» OR «high school») AND NOT TITLE-ABS-KEY («virtual reality»)	75
WoS	((TS = («virtual laboratories» OR «virtual laboratory»)) AND TS = (experimental science OR physics OR chemistry OR biology OR geology)) AND TS = (secondary school OR secondary education OR high school)) NOT TS = («virtual reality»)	85
ERIC	(«virtual laboratory») AND (experimental science OR physics OR chemistry OR biology OR geology) AND («Secondary school» OR «secondary education» OR «high school») NOT («virtual reality»)	61

RESULTADOS

Se presentarán los resultados por cada pregunta de investigación.

PI-1.- ¿Cuáles son los laboratorios más investigados para la enseñanza de las ciencias experimentales?

El laboratorio más utilizado para realizar las investigaciones correspondientes a esta revisión sistemática es PhET, el cual fue investigado por ocho autores. En segundo lugar, se encuentra al laboratorio virtual Go-Lab, analizado por dos autores. Ningún otro laboratorio se repitió en la investigación. Entre otros laboratorios comunes que fueron investigados se encuentran Chem Collective, Crocodile Chemistry, Learn Genetics, Stellarium, LabPro de Vernier, Open Learning Laboratory Environment, Lab Interactive platform, laboratorio de circuito eléctrico virtual WebLab, Labster y eCLOSE Institute, UCSF ChimeraX 3D, Cruzando moscas y LabLessons. En la tabla 2 se muestran los trabajos en los que se investigaron cada uno de los laboratorios mencionados.

Algunos laboratorios virtuales que se utilizaron en las investigaciones fueron elaborados por sus autores. Así, se encuentran: Paquete de Laboratorio de Física Virtual, Laboratorio químico virtual con sensor Kinect, Laboratorio de Química Virtual Multimodal, Paquete de Laboratorio de Física Virtual, ViPhyLab, Laboratorio Virtual de Química, Sistema de modelado de datos interactivo, Semi second life, Scialience y módulos digitales que contienen un laboratorio virtual. La tabla 2 muestra los autores que desarrollaron e investigaron el impacto de estos laboratorios virtuales.

En la investigación también se encontraron cinco trabajos que, aunque usaron un laboratorio virtual en su investigación, no especificaron detalles, como su nombre o su enlace, como se muestra en la tabla 2. Finalmente, el trabajo de Angreani et al. (2022) no cita el nombre del laboratorio virtual utilizado, pero sí proporciona el enlace: <https://vlab.agsdigital.id/index.php?page=kdid>, aunque este hoy día no está disponible.

Tabla 2.
Laboratorios virtuales utilizados en las investigaciones

<i>Nombre del laboratorio virtual</i>	<i>Autores que lo investigaron</i>	<i>Número</i>
Laboratorios virtuales disponibles		
PhET	Hale-Hanes (2015); Faour y Ayoubi (2018); Maulidah y Prima (2018); Famani et al. (2019); Husnaini y Chen (2019); Sharifov (2020); Puspitaningtyas et al. (2021); Yildirim, (2021)	8
Go-Lab	Kapici et al. (2022); Sui et al. (2023)	2
Chem Collective	Hale-Hanes (2015)	1
Crocodile Chemistry	Herga et al. (2015)	1
Learn Genetics	Oser y Fraser (2015)	1
Stellarium	Prima et al. (2017)	1
LabPro de Vernier	Špernjak y Šorgo (2017)	1
Open Learning Laboratory Environment (OLLE u Opti-Lab)	Taramopoulos y Psillos (2017)	1
Lab Interactive platform	Rosenberg y Lawson (2019)	1
Laboratorio de circuito eléctrico virtual WebLab del centro de ciencias y Museo de Tecnología (NOESIS) en Tesalónica	Taramopoulos y Psillos (2019)	1
Labster y eCLOSE Institute	Hanley et al. (2022)	1
UCSF ChimeraX 3D	McGuire et al. (2022)	1
Cruzando moscas	Robles Moral y Martínez Ballesteros (2022)	1
LabLessons	Qu et al. (2022)	1
Laboratorios virtuales desarrollados por los autores		
Paquete de Laboratorio de Física Virtual	Falode et al. (2015)	1
Laboratorio químico virtual con sensor Kinect	Jagodziński y Wolski (2015) Wolski y Jagodzinski (2019)	2
Laboratorio de Química Virtual Multimodal (MMVCL)	Ullah et al. (2016)	1
Paquete de Laboratorio de Física Virtual (VPLP)	Falode y Gambari (2017)	1
ViPhyLab	Arista y Kuswanto (2018)	1
Laboratorio Virtual de Química (CVL)	Gambari et al. (2018)	1

<i>Nombre del laboratorio virtual</i>	<i>Autores que lo investigaron</i>	<i>Número</i>
Sistema de modelado de datos interactivo (IDMS)	Hung y Tsai, (2020)	1
Semi second life (s-SL)	Amin y Ikhsan (2021)	1
Scialience	Cheng et al. (2022)	1
Módulos digitales que contienen laboratorio virtual	Wirdiyatusyifa et al. (2022)	1
Laboratorios cuyo nombre no se menciona		
No se menciona	Gunawan et al. (2019)	1
No se menciona	Gunawan et al. (2019)	1
No se menciona	Ojo y Owolabi (2020)	1
No se menciona	Manyilizu (2022)	1
No se menciona	Sasmito y Sekarsari (2022)	1
https://vlab.agsdigital.id/index.php?page=kdid	Angreani et al. (2022)	1
TOTAL		38

PI-2.- ¿Cuáles son las asignaturas más abordadas en las investigaciones sobre laboratorios virtuales?

La asignatura que ocupa el primer lugar en las investigaciones revisadas es la Física, en 18 artículos, que representan el 47,36 % del total de artículos revisados. En segundo lugar, se encuentra la asignatura de Química, con 10 artículos, que representan el 26,31 %. En tercer lugar, se encuentra la asignatura de Biología, con siete artículos, el 18,42 % del total. En último lugar se encuentra la asignatura de Ciencias Naturales, con 3 artículos, que representan el 7,89 %. La tabla 3 muestra los trabajos que investigaron laboratorios virtuales en cada una de las asignaturas mencionadas.

Tabla 3.
Asignaturas abordadas por los laboratorios virtuales utilizados

<i>Asignatura</i>	<i>Autores</i>	<i>Número</i>	<i>Porcentaje</i>
Física	Falode et al. (2015); Falode y Gambari (2017); Taramopoulos y Psillos (2017); Arista y Kuswanto (2018); Faour y Ayoubi (2018); Maulidah y Prima (2018); Famani et al. (2019); Gunawan et al. (2019); Gunawan et al. (2019); Husnaini y Chen (2019); Rosenberg y Lawson (2019); Taramopoulos y Psillos (2019); Hung y Tsai (2020); Ojo y Owolabi (2020); Sharifov (2020); Puspitaningtyas et al. (2021); Kapici et al. (2022); Wirdiyatusyifa et al. (2022).	18	47,36 %
Química	Hale-Hanes (2015); Herga et al. (2015); Jagodziński y Wolski (2015); Ullah et al. (2016); Gambari et al. (2018); Wolski y Jagodzinski (2019); Amin y Ikhsan (2021); Manyilizu (2022); Sasmito y Sekarsari (2022); Qu et al. (2022).	10	26,31 %
Biología	Oser y Fraser (2015); Špernjak y Šorgo (2017); Cheng et al. (2022); Hanley et al. (2022); McGuire et al. (2022); Robles Moral y Martínez Ballesteros (2022); Sui et al. (2023).	7	18,42 %
Ciencias Naturales	Prima et al. (2017); Yildirim (2021); Angreani et al. (2022).	3	7,89 %

PI-3.- ¿Qué contenidos se han abordado en las investigaciones sobre los laboratorios virtuales?

Los contenidos abordados en las investigaciones con laboratorios virtuales se muestran en la tabla 4, en la que se observa que los contenidos de Física que más se repiten son los relacionados con los circuitos eléctricos, que han sido trabajados en seis de los documentos revisados (Taramopoulos y Psillos, 2017; Faour y Ayoubi, 2018; Famani et al., 2019; Taramopoulos y Psillos, 2019; Sharifov, 2020; Kapici et al., 2022). Le siguen el péndulo simple, la ley de Hooke y experimentos de impulso que se han analizado en dos de los artículos revisados (Falode et al., 2015; Falode y Gambari, 2017). En las asignaturas de Química y Ciencias Naturales no se repiten los contenidos, mientras que, en la asignatura de Biología, se encuentran tres investigaciones asociadas a la genética (Oser y Fraser, 2015; Robles Moral y Martínez Ballesteros, 2022; Sui et al., 2023).

Tabla 4.
Contenidos abordados por los laboratorios virtuales utilizados

<i>Asignatura</i>	<i>Temas</i>	<i>Autores</i>
Física	Péndulo simple, ley de Hooke y experimentos de impulso.	Falode et al. (2015); Falode y Gambari (2017)
	Circuitos eléctricos.	Taramopoulos y Psillos (2017)
	Dinámica rotacional.	Arista y Kuswanto (2018)
	Circuito eléctrico de corriente continua.	Faour y Ayoubi (2018)
	Ondas y sonidos.	Maulidah y Prima (2018)
	Ley de Inducción de Faraday.	Famani et al. (2019)
	Calor.	Gunawan et al. (2019)
	No se menciona.	Gunawan et al. (2019)
	Péndulo simple.	Husnaini y Chen (2019)
	Termodinámica: teoría de partículas de la materia y difusión.	Rosenberg y Lawson (2019)
	Circuito cerrado, corriente eléctrica, voltaje y resistencia.	Taramopoulos y Psillos (2019)
	Calor y calor específico.	Hung y Tsai (2020)
	No se menciona.	Ojo y Owolabi (2020)
	Electromagnetismo, ley de Faraday.	Sharifov (2020)
	Ondas de luz.	Puspitaningtyas et al. (2021)
	Electricidad.	Kapici et al. (2022)
Leyes de Newton.	Wirdiyatusyifa et al. (2022)	
Química	Modelos ácido-base (Arrhenius y Brønsted-Lowry).	Hale-Hanes (2015)
	La materia, sus características y cambios. Sustancias puras y mezclas.	Herga et al. (2015)
	Comparación de la reactividad química de los metales, caracterización de dióxido de carbono, síntesis de ácido clorhídrico por disolución de cloruro de hidrógeno en agua, estudio del efecto de la temperatura sobre la solubilidad de gases en agua, efecto de la temperatura sobre la velocidad de reacción química, prueba de reactividad de hidróxidos y ácidos sobre óxidos.	Jagodziński y Wolski (2015)

<i>Asignatura</i>	<i>Temas</i>	<i>Autores</i>
Química	Estandarización de solución de hidróxido de sodio por solución estándar de ácido oxálico.	Ullah et al. (2016)
	Introducción al análisis cualitativo, Identificación de cationes y aniones.	Gambari et al. (2018)
	Ácidos, hidróxidos y sales.	Wolski y Jagodzinski (2019)
	Equilibrio químico.	Amin y Ikhsan (2021)
	Concepto de mol y cálculos relacionados, análisis volumétrico y técnicas de laboratorio y seguridad.	Manyilizu (2022)
	Reacciones exotérmicas y endotérmicas.	Sasmito y Sekarsari (2022)
	Velocidades de reacción y modelos de moléculas orgánicas.	Qu et al., (2022)
Biología	Genética.	Oser y Fraser (2015)
	Intercambio de gases, actividad de la levadura y frecuencia cardíaca.	Špernjak y Šorgo (2017)
	Determinación de azúcar y árbol filogenético.	Cheng et al. (2022)
	El cáncer.	Hanley et al. (2022)
	Estructura de aminoácidos de la proteína espiga del SARS-CoV-2 y su interacción con el receptor humano ACE2: organismos, química básica relacionada con organismos vivos, biomoléculas y actividad celular.	McGuire et al. (2022)
	Genética: reconocimiento de la importancia del uso de organismos modelo en las investigaciones científicas (<i>Drosophila melanogaster</i>); identificación de las características de <i>Drosophila</i> y cómo se trabaja con ella para realizar experimentos que permitan analizar los resultados a través de las leyes de Mendel y el planteamiento de hipótesis; e introducción del funcionamiento de los cromosomas sexuales y la herencia genética ligada al sexo.	Robles Moral y Martínez Ballesteros (2022)
Leyes de herencia de Mendel: ley de dominancia, segregación y distribución independiente.	Sui et al. (2023)	
Ciencias Naturales	Sistema Solar.	Prima et al. (2017)
	Presión: variables que afectan la presión de sólidos, líquidos y gases y relación entre estas variables.	Yildirim (2021)
	Alfabetización ambiental	Angreani et al. (2022)

PI-4.- ¿Cuál es la tecnología utilizada para ejecutar los laboratorios virtuales investigados?

Con respecto a la tecnología utilizada (tabla 5), se encontró que el grupo más numeroso está formado por los 15 trabajos que utilizaron en sus investigaciones laboratorios ejecutados como aplicaciones web. En segundo lugar, se encuentran las aplicaciones para computadora, con nueve trabajos que utilizaron laboratorios con esta tecnología; le sigue el *software* de computadora, utilizado por nueve trabajos, y, finalmente, hay dos trabajos que utilizan aplicaciones móviles para los laboratorios virtuales. Por último, hay tres trabajos en los que no se menciona la tecnología que utilizan los laboratorios virtuales investigados.

Tabla 5.
Tecnología utilizada por los laboratorios virtuales analizados

<i>Tecnología utilizada</i>	<i>Laboratorios virtuales</i>	<i>Autores</i>
Aplicaciones en la web	PhET, LabLessons, Labster y eCLOSE Institute, Learn Genetics, Chem Collective, Lab Interactive platform, Cruzando moscas, Go-Lab.	Hale-Hanes (2015); Oser y Fraser (2015); Faour y Ayoubi (2018); Maulidah y Prima (2018); Famani et al. (2019); Husnaini y Chen (2019); Rosenberg y Lawson (2019); Sharifov (2020); Puspitaningtyas et al. (2021); Yildirim (2021); Hanley et al. (2022); Kapici et al. (2022); Robles Moral y Martínez Ballesteros (2022); Qu et al. (2022); Sui et al. (2023)
Aplicaciones para computadora	Paquete de Laboratorio de Física Virtual (VPLP), LabPro de Vernier, Open Learning Laboratory Environment (OLLE u OptiLab), Laboratorio de circuito eléctrico virtual Weblab del centro de ciencias y Museo de Tecnología (NOESIS) en Tesalónica, Módulos digitales que contienen laboratorio virtual, Paquete de Laboratorio de Física Virtual	Falode et al. (2015); Falode y Gambari (2017); Špernjak y Šorgo (2017); Taramopoulos y Psillos (2017); Taramopoulos y Psillos (2019); Angreani et al. (2022); Manyilizu (2022); Sasmito y Sekarsari (2022); Wirdiyatusyifa et al. (2022)
<i>Software</i> de computadora	Semi second life (s-SL), Laboratorio Virtual de Química (CVL), Laboratorio químico virtual son sensor Kinect, Stellarium, Laboratorio de Química Virtual Multimodal (MMV-CL), Crocodile Chemistry, UCSF ChimeraX 3D.	Herga et al. (2015); Jagodziński y Wolski (2015); Ullah et al. (2016); Prima et al. (2017); Gambari et al. (2018); Wolski y Jagodziński (2019); Ojo y Owolabi (2020); Amin y Ikhsan (2021); McGuire et al. (2022)
Aplicaciones móviles	ViPhyLab, Scialience	Arista y Kuswanto (2018); Cheng et al. (2022)
No se menciona	Sistema de modelado de datos interactivo (IDMS)	Gunawan et al. (2019); Gunawan et al. (2019); Hung y Tsai (2020)

PI-5.- ¿Qué edades son las más abordadas en la aplicación de los laboratorios virtuales investigados?

En la tabla 6 se muestran las edades abordadas en los 38 trabajos analizados. En primer lugar, destaca la de los 16 años, con un total de 11 artículos destinados a esta etapa etaria específica, además de otros 5 destinados a esta y a otras edades. A continuación, se sitúan las edades de 13, 14, 15 y 17 años. En tercer lugar, se encuentran las edades de 11, 12, 18 y 19 años, con un número inferior de trabajos.

Tabla 6.
Edades abordadas en las investigaciones sobre laboratorios virtuales

<i>Edad</i>	<i>Autores</i>	<i>Número</i>
16 años	Falode et al. (2015); Hale-Hanes (2015); Falode y Gambari (2017); Arista y Kuswanto (2018); Gambari et al. (2018); Gunawan et al. (2019); Ojo y Owolabi (2020); Amin y Ikhsan (2021); Puspitaningtyas et al. (2021); Robles Moral y Martínez Ballesteros (2022); Wirdiyatusyifa et al. (2022)	11
13 años	Prima et al. (2017); Maulidah y Prima (2018); Hung y Tsai (2020); Yildirim (2021); Sui et al. (2023)	5
14 a 18 años	Hanley et al. (2022); Sasmito y Sekarsari (2022); Qu et al., (2022)	3

<i>Edad</i>	<i>Autores</i>	<i>Número</i>
15 años	Husnaini y Chen (2019); Angreani et al. (2022); Manyilizu, (2022)	3
16 a 17 años	Taramopoulos y Psillos, (2017); Taramopoulos y Psillos (2019); Cheng et al. (2022)	3
14 años	Famani et al. (2019); Sharifov (2020)	2
14 y 17 años	Jagodziński y Wolski (2015); Wolski y Jagodzinski (2019)	2
11 a 15 años	Špernjak y Šorgo (2017)	1
12 a 13 años	Herga et al. (2015)	1
12 a 14 años	Kapici et al. (2022)	1
13 a 15 años	Oser y Fraser (2015)	1
14 a 16 años	Faour y Ayoubi (2018)	1
16 a 19 años	Ullah et al. (2016)	1
17 años	Rosenberg y Lawson (2019)	1
No se menciona	Gunawan et al. (2019); McGuire et al. (2022)	2

PI-6.- ¿Qué resultados se han obtenido aplicando los laboratorios virtuales investigados para la enseñanza de las ciencias experimentales?

En la mayoría de los estudios analizados se obtuvieron resultados positivos al aplicar laboratorios virtuales. Así, tenemos que los estudiantes de los grupos experimentales obtuvieron mejores resultados académicos que sus compañeros que no los utilizaron (Herga et al., 2015; Faour y Ayoubi, 2018; Gambari et al., 2018; Gunawan et al., 2019; Taramopoulos y Psillos, 2019; Wolski y Jagodzinski, 2019; Hung y Tsai, 2020; Amin y Ikhsan, 2021; Yildirim, 2021; Angreani et al. 2022; Sasmito y Sekarsari, 2022; Qu et al., 2022). Otros resultados positivos de la aplicación de laboratorios virtuales fueron que:

- Mejoraron la comprensión de los estudiantes sobre los temas analizados, incluyendo temas complejos (Hale-Hanes, 2015; Taramopoulos y Psillos, 2017; Famani et al., 2019; Rosenberg y Lawson, 2019; Taramopoulos y Psillos, 2019; Puspitaningtyas et al., 2021; McGuire et al., 2022; Sui et al., 2023).
- Mejoraron la implicación emocional y autoeficacia de los estudiantes en el laboratorio, resultando en calificaciones más altas y mayor interés en la asignatura de Química (Jagodziński y Wolski, 2015).
- Mejoraron el aprendizaje de los estudiantes y su desempeño en situaciones reales (Ullah et al., 2016).
- Mejoraron la comprensión del sistema solar en los estudiantes, lo que les permitió crear un medio creativo que apoye el juego de roles (Prima et al., 2017).
- Mejoraron el rendimiento académico de los estudiantes (Falode y Gambari, 2017).
- Mejoraron la independencia de aprendizaje y la comprensión conceptual de los estudiantes (Arista y Kuswanto, 2018).
- Mostraron un resultado favorable tanto en el aspecto cognitivo como en el entorno del laboratorio de ciencias (Maulidah y Prima, 2018).
- Tuvieron un efecto significativo en las habilidades del proceso científico, especialmente en las habilidades: hipotetizar, practicar y comunicar (Gunawan et al., 2019).

- Mejoraron efectivamente la creatividad verbal, figural, numérica y procedimental de los estudiantes en el aprendizaje de la Física (Gunawan et al., 2019).
- Mejoraron el desempeño estudiantil al recordar información, realizar prácticas y aplicar conocimientos en tareas conocidas (Wolski y Jagodzinski, 2019).
- Tuvieron efectos positivos en las competencias de modelado de datos de los estudiantes (Hung y Tsai, 2020).
- Mejoraron la actitud de los estudiantes hacia la práctica de Física (Ojo y Owolabi, 2020).
- Mejoraron del pensamiento crítico, habilidades creativas y resolución de tareas físicas complicadas relacionadas con el electromagnetismo en los estudiantes (Sharifov, 2020).
- Ayudaron a los estudiantes a comprender temas abstractos y a aumentar su interés y motivación hacia las ciencias (Yildirim, 2021).
- Aumentaron las habilidades de alfabetización ambiental del estudiantado (Angreani et al. 2022).
- Mejoraron la comprensión y la retención del tema, y aumentaron experiencias de investigación y compromiso cognitivo y social (Cheng et al., 2022).
- Facilitaron el aprendizaje, fomentaron habilidades de investigación y motivaron a algunos estudiantes a considerar carreras científicas y relacionadas con el cáncer (Hanley et al., 2022).
- Mejoraron el desempeño de los estudiantes en un laboratorio real (Manyilizu, 2022).
- Permitieron a los estudiantes adquirir conocimientos básicos y ampliar contenidos sin ayuda directa del profesor (Robles Moral y Martínez Ballesteros, 2022).
- Mejoraron las habilidades del proceso científico SEP (*Science, Engineering, and Practices*) de los estudiantes (Wirdiyatasyifa et al. 2022).

Sin embargo, hay cuatro trabajos en los que los resultados de usar laboratorios virtuales no fueron significativamente mejores que al utilizar laboratorios reales. Por ejemplo, en el estudio de Falode et al. (2015) no hubo una diferencia significativa entre el rendimiento de los estudiantes a los que se les enseñó usando el Paquete de Laboratorio de Física Virtual y los enseñados usando instrucción de laboratorio convencional. De igual manera, Špernjak y Šorgo (2017) compararon el conocimiento adquirido por estudiantes al usar laboratorios tradicionales, asistidos por ordenador y virtuales. No hubo diferencias en el conocimiento, pero los estudiantes prefirieron los laboratorios asistidos por ordenador sobre los tradicionales, dejando los virtuales en último lugar. Asimismo, Husnaini y Chen (2019) encontraron que tanto el laboratorio virtual (VL) como el laboratorio físico (PL) fueron efectivos para enseñar conceptos simples. Sin embargo, el PL fue más eficaz para mejorar conceptos difíciles y la autoeficacia en la indagación científica, especialmente en actividades cruciales como planificación y experimentación. Ambos laboratorios promovieron el disfrute y se consideraron exitosos para diferentes objetivos de aprendizaje.

Por su parte, Kapici et al. (2022) encontraron que tanto un laboratorio virtual como un laboratorio práctico son efectivos para el desarrollo del conocimiento y las habilidades de investigación en estudiantes de secundaria.

Finalmente, en un estudio (Oser y Fraser, 2015) se determinó que los laboratorios virtuales no fueron efectivos en general para todos los estudiantes, siendo ventajosos para los hombres, pero no tanto para las mujeres. Lamentablemente, el estudio no explica ni discute las posibles razones de estos resultados, y en este trabajo tampoco podemos dar ninguna explicación a estas diferencias, por lo que se mantiene como reto para investigaciones futuras.

DISCUSIÓN

En la presente investigación se determinó que la asignatura más investigada al analizar laboratorios virtuales es la Física, seguida de la Química, la Biología y, en último lugar, las Ciencias Naturales. Esto coincide con lo reportado por Zaturrahmi et al. (2020). Estos resultados muestran que existe un mayor interés por investigar el uso de laboratorios virtuales en la enseñanza de la Física que en otras asignaturas de ciencias. La abstracción de los conceptos físicos y la dificultad de relacionar la teoría con la práctica en esta asignatura pueden influir en esta preferencia (Zaturrahmi et al., 2020).

Por otro lado, otro de los resultados de esta investigación es que el principal beneficio del uso de los laboratorios virtuales es el rendimiento académico de los estudiantes. Este resultado también coincide con los de Zaturrahmi et al. (2020) y con los de Fadda et al. (2022), así como con los de Sypsas y Kalles (2018), quienes concluyeron que los laboratorios en línea benefician el aprendizaje, la carga cognitiva, las habilidades científicas y la motivación de los estudiantes. Otras investigaciones, como la de Ali et al. (2022), sugieren que, en la educación científica, los laboratorios virtuales existentes son sistemas eficientes para familiarizar a los estudiantes con las prácticas experimentales. Sin embargo, también se menciona que los laboratorios virtuales tienen varias limitaciones; la más notable es la restricción que tienen los usuarios de agregar nueva información o experimentos.

Asimismo, los resultados de esta revisión sistemática mostraron que, en cuatro estudios revisados, no hubo una diferencia significativa entre usar laboratorios virtuales y laboratorios reales, y se obtuvieron resultados similares en términos de rendimiento académico, conocimiento conceptual y habilidades de investigación (Falode et al., 2015; Špernjak y Šorgo, 2017; Husnaini y Chen 2019; Kapici et al. 2022). Estos resultados coinciden con los reportados por Zacharia y Olympiou (2011), quienes concluyeron que la naturaleza del aprendizaje y los resultados del aprendizaje no cambian sustancialmente cuando los laboratorios físicos se sustituyen por los laboratorios virtuales, por lo que se deben considerar otros factores, como portabilidad, seguridad y rentabilidad, al elegir entre ambos. Es así que, como menciona De Jong et al. (2013), los beneficios de los laboratorios virtuales surgen cuando los estudiantes pueden investigar fenómenos no observables que no se encuentran en la investigación física, realizar muchos más experimentos de los posibles en el entorno físico, vincular fenómenos observables y de nivel atómico, o contrastar diferentes representaciones de fenómenos similares, mientras que los laboratorios físicos tienen ventajas cuando el objetivo de la instrucción es que los estudiantes adquieran una epistemología sofisticada de la ciencia, incluida la capacidad de dar sentido a mediciones imperfectas y adquirir habilidades prácticas.

Del mismo modo, en la investigación de De Jong et al. (2013) se destaca que la combinación de laboratorios virtuales y físicos ofrece ventajas sobre el uso aislado de cualquiera de ellos, pues permite que los estudiantes puedan comparar dos representaciones potencialmente diferentes del mismo fenómeno y usar el razonamiento abstracto para analizar las diferencias, brindándoles una comprensión más matizada de los fenómenos científicos y una comprensión más sólida de la investigación. Estos resultados coinciden con lo analizado por Sypsas y Kalles (2018), quienes concluyeron que los laboratorios virtuales no deberían sustituir a los físicos y que se obtienen mejores resultados combinando las prácticas virtuales con las sesiones prácticas tradicionales.

En esta revisión también se ha encontrado que la mayoría de las investigaciones sobre los laboratorios virtuales buscan identificar su impacto en la enseñanza de las ciencias. De hecho, ya Sapriati et al. (2023) concluyeron que la mayor parte de la investigación actual sobre laboratorios virtuales se ocupa de su efecto en el proceso de aprendizaje autorregulado o el rendimiento académico de los estudiantes tras su uso.

Por otro lado, en esta investigación se pudo determinar que la tecnología predominante para ejecutar los laboratorios virtuales utilizados en las investigaciones analizadas son las aplicaciones web,

seguidas de las aplicaciones para computadora, después, los *softwares* de computadora y, finalmente, las aplicaciones móviles. Estos resultados difieren ligeramente de los encontrados por Chan et al. (2021) para los laboratorios químicos virtuales, quienes concluyeron que las tecnologías más utilizadas eran los *softwares* de escritorio 3D, seguidas de los *softwares* de escritorio 2D y la realidad virtual inmersiva. Este contraste en los resultados puede deberse al diferente enfoque que se le da a la tecnología usada, ya que la presente investigación se enfoca a la tecnología usada para ejecutar los laboratorios virtuales, mientras que la revisión de Chan et al. (2021) se enfoca a la tecnología de visualización de estos.

Por otra parte, en la presente investigación se ha encontrado que más del 25 % de los laboratorios virtuales utilizados en los trabajos revisados son PhET y Go-Lab. Sin embargo, el 75 % restante se distribuye en un abanico muy amplio de laboratorios, algunos de ellos bien conocidos en el ámbito educativo, como son Chem Collective, Learn Genetics y Crocodile Chemistry, y otros no tanto, pero prometedores. Lo que llama la atención en este listado es que no se hayan encontrado trabajos que utilicen los laboratorios virtuales disponibles en la web de forma gratuita. Algunos de estos laboratorios se muestran en la tabla 7.

La existencia de múltiples laboratorios virtuales existentes nos da una idea del recorrido que queda en la investigación sobre su impacto en la enseñanza de las ciencias experimentales, por lo que se espera que estudios futuros cubran este hueco y afronten el análisis del impacto del uso de estas herramientas en el contexto escolar. Esto es especialmente relevante en el área de la Geología, para la cual esta revisión ha puesto de manifiesto el vacío que hay de investigaciones sobre laboratorios virtuales en esta área de conocimiento. De igual forma, quizás por el escaso desarrollo de laboratorios virtuales en esta área, no hemos encontrado revisiones sistemáticas que aborden el uso de laboratorios virtuales enfocados en esta asignatura.

Tabla 7.
Laboratorios virtuales disponibles no abordados por los estudios revisados

<i>Nombre</i>	<i>Asignaturas</i>	<i>Idioma</i>	<i>Disponible en:</i>
Educaplus	Biología, Química, Física, Ciencias de la Tierra	Español	https://www.educaplus.org/
Olabs	Biología, Química, Física	Inglés	http://www.olabs.edu.in/
Laboratorio Virtual	Química, Física	Español	https://labovirtual.blogspot.com/
VLabQ	Química	Español	https://vlabq-laboratorio-virtual-quimica.programas-gratis.net/
Biomodel	Biología	Español	https://biomodel.uah.es/lab/
Objetos UNAM	Biología, Química, Física	Español	http://objetos.unam.mx/
LabXchange	Biología, Química	Español	https://www.labxchange.org/

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio muestran que los laboratorios virtuales PhET y Go-Lab son los más utilizados en las investigaciones sobre el efecto de los laboratorios virtuales en la enseñanza de las ciencias experimentales en educación secundaria, probablemente debido a su libre acceso web y variedad de temáticas. La asignatura en la que más se centran las investigaciones es la Física, seguida de la Química, la Biología y las Ciencias Naturales, abordando contenidos diversos, entre los que se destacan circuitos

eléctricos en Física y genética en Biología. Esta diversidad de contenidos resalta la versatilidad de estas herramientas para cubrir diferentes áreas de estudio.

La tecnología predominante de los laboratorios virtuales utilizados en las investigaciones analizadas son las aplicaciones web, aunque también se usan aplicaciones de escritorio y móviles. Con esto, se destaca la importancia de la accesibilidad y la facilidad de uso a la hora de usar laboratorios virtuales. Las edades más abordadas en las investigaciones son los 16 y los 13 años, que corresponden a bachillerato y secundaria. En general, las investigaciones analizadas muestran resultados prometedores al usar laboratorios virtuales en la enseñanza de las ciencias experimentales, mostrando mejoras en el rendimiento, comprensión y actitudes de los estudiantes.

Estos resultados son significativos, ya que muestran que los laboratorios virtuales pueden ser herramientas efectivas para la enseñanza de las ciencias experimentales al ser accesibles, económicos y flexibles, lo que los hace ideales para su uso en entornos educativos. Además, permiten a los estudiantes experimentar fenómenos científicos de forma segura y controlada, lo que puede ayudar a mejorar su comprensión de los conceptos científicos. Su uso es muy versátil; podrían ser útiles para familiarizar a los estudiantes con la práctica experimental antes de efectuar experimentos en laboratorios reales, pero también para profundizar en las explicaciones teóricas e incluso para aplicar el conocimiento en nuevas situaciones.

Es importante aclarar que el presente estudio podría haber alcanzado resultados diferentes si en las ecuaciones de búsqueda se hubiera usado el término «simulators» en lugar de «virtual laboratories». Al ser las relaciones entre ambos términos bastante ambiguas, no es posible asegurar que la búsqueda lingüística responda fielmente a las investigaciones realizadas.

Finalmente, la investigación futura en el campo del uso de laboratorios virtuales para la enseñanza de las ciencias experimentales debería centrarse en desarrollar nuevas metodologías para la creación y evaluación de laboratorios virtuales que aborden contenidos específicos y se ajusten a las necesidades cambiantes del currículo educativo. Esto es especialmente relevante en el área de la Geología, ya que existe un vacío grande en cuanto a la investigación del impacto del uso de estas herramientas en esta asignatura. Además, se requiere mayor investigación para determinar metodologías idóneas para integrar óptimamente estas herramientas en distintos contextos educativos y contenidos específicos. Por otra parte, debido a la repercusión de la inteligencia artificial generativa en la educación, se ve necesario investigar su impacto en el desarrollo de nuevos laboratorios virtuales que permitan la personalización del aprendizaje, así como la generación de guías de laboratorio optimizadas para el uso de laboratorios virtuales. Asimismo, se espera que futuros estudios profundicen en los factores que explican las mejoras en el rendimiento y actitudes de los estudiantes al usar laboratorios virtuales, y si estas persisten en el tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación está financiada por el proyecto TED2021-129474B-I00 del MCIN/AEI /10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/ PRTR.

REFERENCIAS

Akpan, J. P. (2001). Issues associated with Inserting computer simulations into Biology instruction: A Review of the Literature. *Electronic Journal of Science Education*, 5(3), 17-18. <https://ejrsme.icrsme.com/article/view/7656>

- Aldrich, C. (2005). *Learning by Doing: A Comprehensive Guide to Simulations, Computer Games, and Other Educational Experiences*. San Francisco, CA: Pfeiffer.
<https://doi.org/10.1145/1104985.1104993>
- Ali, N., Ullah, S., y Khan, D. (2022). Interactive Laboratories for Science Education: A Subjective Study and Systematic Literature review. *Multimodal technologies and interaction*, 6(10), 85.
<https://doi.org/10.3390/mti6100085>
- Amin, D. I., y Ikhsan, J. (2021). Improving higher order thinking skills via semi second life. *European Journal of Educational Research*, 10(1), 261-274.
<https://doi.org/10.12973/eu-jer.10.1.261>
- Angreani, A., Saefudin, S., y Solihat, R. (2022). Virtual laboratory based online learning: Improving environmental literacy in high school students. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 8(1), 10-21.
<https://doi.org/10.22219/jpbi.v8i1.18120>
- Arista, F. S. y Kuswanto, H. (2018). Virtual Physics Laboratory Application Based on The Android Smartphone to Improve Learning Independence and Conceptual Understanding. *International Journal of Instruction*, 11(1), 1-16.
<https://doi.org/10.12973/iji.2018.1111a>
- Chan, P., Van Gerven, T., Dubois, J., y Bernaerts, K. (2021). Virtual Chemical Laboratories: A systematic literature review of research, technologies and instructional design. *Computers and Education Open*, 2, 100053.
<https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100053>
- Cheng, M.T., Chou, W.C., Hsu, M.E., y Cheng, F.C. (2022). Blending educational gaming with physical experiments to engage high school students in inquiry-based learning. *Journal of Biological Education*.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2157861>
- Chua, K., y Karpudewan, M. (2017). The role of motivation and perceptions about science laboratory environment on lower secondary students' attitude towards science. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 18 (12), 1-16. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1179318>
- De Jong, T., Linn, M. C., y Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305-308.
<https://doi.org/10.1126/science.1230579>
- Fadda, D., Salis, C., y Vivanet G. (2022). About the Efficacy of Virtual and Remote Laboratories in STEM Education in Secondary School: A Second-Order Systematic Review. *Journal of Educational, Cultural and Psychological Studies*, 26, 51-72.
<https://dx.doi.org/10.7358/ecps-2022-026-fadd>
- Falode, O.C. y Onasanya, S.A. (2015). Teaching and learning efficacy of virtual laboratory package on selected nigerian secondary school physics concepts. *Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education*, 24(4), 572-583.
- Falode, O.C. y Gambari, A.İ. (2017). Evaluation of virtual laboratory package on nigerian secondary school physics concepts. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 18 (2), 168-178.
<https://doi.org/10.17718/tojde.306567>
- Famani, S.T.M., Ayub, M.R.S.S.N., y Sudjito, D.N. (2019). Physics Learning Design of Faraday's Induction Law Material Using PhET Simulation. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 15(2), 87-96.
<https://doi.org/10.15294/jpfi.v15i2.12656>

- Faour, M.A. y Ayoubi, Z. (2018). The effect of using virtual laboratory on grade 10 students' conceptual understanding and their attitudes towards physics. *Journal of Education in Science, Environment and Health (JESEH)*, 4(1), 54-68.
<https://doi.org/10.21891/jeseh.387482>
- Gambari, A. I., Kawu, H., y Falode, O. C. (2018). Impact of Virtual Laboratory on the Achievement of Secondary School Chemistry Students in Homogeneous and Heterogeneous Collaborative Environments. *Contemporary Educational Technology*, 9(3), 246-263.
<https://doi.org/10.30935/cet.444108>
- Gunawan Dewi, S.M., Harjono, A., y Susulawati. (2019). Generative Learning Models Assisted by Virtual Laboratories to Improve Students' Creativity in Physics. *Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems*, 11(7), 403-411.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1521/2/022013>
- Gunawan, Harjono, A., Hermansyah, y Herayanti, L. (2019). Guided inquiry model through virtual laboratory to enhance students' science process skills on heat concept. *Cakrawala Pendidikan*, 38(2), 1-10.
<https://doi.org/10.21831/cp.v38i2.23345>
- Hale-Hanes, C. (2015). Promoting Student Development of Models and Scientific Inquiry Skills in Acid-Base Chemistry: An Important Skill Development in Preparation for AP Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 92(8), 1320-1324.
<https://doi.org/10.1021/ed500814n>
- Hanley, Carol D., Jenni Ho, Chris Prichard, y Nathan L. Vanderford. (2022). The Use of Virtual Research Experiences for Appalachian Career Training in Oncology (ACTION) Program High School Participants During the COVID-19 Pandemic. *Journal of STEM Outreach*, 5(2), 1-12.
<https://doi.org/10.15695/jstem/v5i2.03>
- Herga, N. R., Grmek, M. I., y Dinevski, D. (2014). Virtual laboratory as an element of visualization when teaching chemical contents in science class. *TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 13(4), 157-165.
- Herga, N.R., Glažar, S.A., y Dinevski, D. (2015). Dynamic visualization in the virtual laboratory enhances the fundamental understanding of Chemical concepts. *Journal of Baltic Science Education*, 14(3), 351-365.
<https://doi.org/10.33225/jbse/15.14.351>
- Hung, J-F, y Tsai, C-Y. (2020). The effects of a virtual laboratory and meta-cognitive scaffolding on students' data modelling competences. *Journal of Baltic Science Education*, 19(6), 923-939.
<https://doi.org/10.33225/jbse/20.19.923>
- Husnaini, S. J. y Chen, S. (2019). Effects of guided inquiry virtual and physical laboratories on conceptual understanding, inquiry performance, scientific inquiry self-efficacy, and enjoyment. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1).
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010119>
- Jagodziński, P. y Wolski, R. (2015). Assessment of Application Technology of Natural User Interfaces in the Creation of a Virtual Chemical Laboratory. *Journal of Science Education and Technology*, 24, 16-28.
<https://doi.org/10.1007/s10956-014-9517-5>
- Kapici, H.O., Akcay, H., y Cakir, H. (2022) Investigating the effects of different levels of guidance in inquiry-based hands-on and virtual science laboratories. *International Journal of Science Education*, 44(2), 324-345.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2028926>

- Manyilizu, M.C. (2022). Effectiveness of virtual laboratory vs. paper-based experiences to the hands-on chemistry practical in Tanzanian secondary schools. *Education and Information Technologies*, 28, 4831-484.
<https://doi.org/10.1007/s10639-022-11327-7>
- Maulidah, S. S., y Prima, E. C. (2018). Using Physics Education Technology as Virtual Laboratory in Learning Waves and Sounds. *Journal of Science Learning*, 1(3), 116-121.
<https://doi.org/10.17509/jsl.v1i3.11797>
- McGuire, G.P., Luna, C.V., Staehling, E.M., y Stroupe, ME. (2022). From COVID-19 to the Central Dogma: Investigating the SARS-CoV-2 Spike Protein. *The American Biology Teacher*, 84 (7), 410-414.
<https://doi.org/10.1525/abt.2022.84.7.410>
- Newman, M. y Gough, D. (2020). Systematic Reviews in Educational Research: Methodology, Perspectives and Application. En O. Zawacki-Richter, M. Kerres, S. Bedenlier, M. Bond, y K. Buntins (Eds.), *Systematic Reviews in Educational Research* (pp. 3-22). Springer Fachmedien Wiesbaden.
https://doi.org/10.1007/978-3-658-27602-7_1
- Ojo, O. M. y Owolabi, O.T. (2020) Relative Effects of Two Activity-Based Instructional Strategies on Secondary School Students' Attitude towards Physics Practical. *European Journal of Educational Sciences*, 7(3), 123-140.
<https://doi.org/10.19044/ejes.v7no3a8>
- Onyesolu, M. O. (2009). Virtual Reality Laboratories: An Ideal Solution to the Problems Facing Laboratory Setup and Management. En Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2009 (WCECS 2009) (Vol. I).
- Oser, R. y Fraser, F. J. (2015). Effectiveness of Virtual Laboratories in Terms of Learning Environment, Attitudes and Achievement among High-School Genetics Students. *Curriculum and Teaching*, 30(2), 65-80.
<https://doi.org/10.7459/ct/30.2.05>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S. et al. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799.
<https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M. y Jovanović, K. (2016). Virtual Laboratories for Education in Science, Technology, and Engineering: a review. *Computers y Education*, 95, 309-327.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>
- Prima, E. C., Putri, C. L., y Sudargo, F. (2017). Applying Pre and Post Role-Plays supported by Stellarium Virtual Observatory to Improve Students' Understanding on Learning Solar System. *Journal of Science Learning* 1(1), 1-7.
<https://doi.org/10.17509/jsl.v1i1.8708>
- Puspitaningtyas, E., Nasera Putri, E. F., Umrotul, U., y Sutopo S. (2021). Analysis of high school student's concept mastery in light wave using structured inquiry learning assisted by a virtual laboratory, *Revista Mexicana de Física*, 18(1), 10-22.
<https://doi.org/10.31349/RevMexFisE.18.10>

- Qu, A., Nicolas, M., Leung, E.M., Jones, S.M., Katyal, P., Punia, K., Maxfield, M., y Montclare, J.K. (2022). Exploring the Viability and Role of Virtual Laboratories in Chemistry Education Using Two Original Modules. *Journal of Chemical Education*, 99(4), 1596-1603.
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00892>
- Raman, R., Achuthan, K., Nair, V., y Nedungadi, P. (2022). Virtual Laboratories - A historical review and bibliometric analysis of the past three decades. *Education and Information Technologies*, 27(8), 11055-11087.
<https://doi.org/10.1007/s10639-022-11058-9>
- Robles Moral, F. J. y Martínez Ballesteros, A. (2022). La genética mendeliana de secundaria a través del laboratorio virtual. *EduTec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (82), 217- 231.
<https://doi.org/10.21556/edutec.2022.82.2695>
- Rosenberg, J. y Lawson, M. (2019). An Investigation of Students' Use of a Computational Science Simulation in an Online High School Physics Class. *Education Sciences*, 9(1), 49.
<https://doi.org/10.3390/educsci9010049>
- Sapriati, A., Suhandoko, A. D. J., Yundayani, A., Karim, R. A., Yufiarti, Y., Adnan, A. H. M. y Suhandoko, A. A. (2023). The Effect of virtual laboratories on Improving Students' SRL: An Umbrella Systematic Review. *Education Sciences*, 13(3), 222.
<https://doi.org/10.3390/educsci13030222>
- Sasmito, A. P. y Sekarsari, P. (2022). Enhancing Students' Understanding and Motivation during COVID-19 Pandemic via Development of Virtual Laboratory. *Journal of Turkish Science Education*, 19(1), 180-193.
<https://doi.org/10.36681/tused.2022..117>
- Sharifov, G.M.O. (2020). The effectiveness of using a virtual laboratory in the teaching of electromagnetism in the lyceum. *Physics Education*, 55(6).
<https://doi.org/10.1088/1361-6552/aba7f5>
- Sypas, A. y Kalles, D. (2018) Virtual laboratories in biology, biotechnology and chemistry education: a literature review. En *Proceedings of PCI '18*.
<https://doi.org/10.1145/3291533.3291560>
- Špernjak, A. y Šorgo, A. (2017). Differences in acquired knowledge and attitudes achieved with traditional, computer-supported and virtual laboratory biology laboratory exercises. *Journal of Biological Education*.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1298532>
- Sui, C.J., Chen, H.C., Cheng, P.H. y Chang, C.Y. (2023). The Go-Lab Platform, an Inquiry-learning Space: Investigation into Students' Technology Acceptance, Knowledge Integration, and Learning Outcomes. *Journal of Science Education and Technology*, 32, 61-77.
<https://doi.org/10.1007/s10956-022-10008-x>
- Taramopoulos, A. y Psillos, D. (2017). Complex phenomena understanding in electricity through dynamically linked concrete and abstract representations. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33(2).
<https://doi.org/10.1111/jcal.12174>
- Taramopoulos, A. y Psillos, D. (2019). Promoting Representational Fluency Through Dynamically Linked Concrete and Abstract Representations in Electric Circuits. *Journal of Science Education and Technology*, 28, 638-650.
<https://doi.org/10.1007/s10956-019-09793-9>
- Torres, F. (2017). Laboratorios virtuales como estrategia para la enseñanza de la Química. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Ullah, S., Ali, N., y Rahman, S. U. (2016). The Effect of Procedural Guidance on Students' Skill Enhancement in a Virtual Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 93 (12) 2018-2025. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00969>
- Unesco (2000). Informe de la reunión de expertos sobre laboratorios virtuales. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. París. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000119102_spa
- Weifan, Q., Yanjun, G., Zhe, Z., Yongyi, Z. (2020). Review of Virtual Simulation Technique in Geology. *Acta Metallurgica Sinica*, 26(4): 464-471. <https://doi.org/10.16108/j.issn1006-7493.2020024>
- Wirdiyatusyifa, Sunarno, W. y Supriyanto, A. (2022). The Digital Module to Improve Students' SEP Skills during the COVID-19 Pandemic. *Journal of Hunan University Natural Sciences*, 49(8), 1-10. <https://doi.org/10.55463/issn.1674-2974.49.8.14>
- Wolski, R. y Jagodzinski, P. (2017). Virtual laboratory – Using a hand movement recognition system to improve the quality of chemical education. *British Journal of Educational Technology*, 50(1), 218-231. <https://doi.org/10.1111/bjet.12563>
- Yildirim, F. S. (2021). The Effect of Virtual Laboratory Applications on 8th Grade Students' Achievement in Science Lesson. *Journal of Education in Science Environment and Health*, 7(2), 171-181. <https://doi.org/10.21891/jeseh.837243>
- Zacharia, Z. C. y Olympiou, G. (2011). Physical versus virtual Manipulative experimentation in Physics learning. *Learning and Instruction*, 21(3), 317-331. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2010.03.001>
- Zaturrahmi, Festuyed, y Ellizar, (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>

Virtual Laboratories for Science Education: a Systematic Review

Gabriela Campos Mera
Universidad Central del Ecuador
gabcampos@correo.ugr.es

Alicia Benarroch Benarroch
Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ciencias de la Educación
y del Deporte de Melilla. Universidad de Granada. Melilla, España
aliciabb@ugr.es

Virtual laboratories are technological tools that allow scientific experiments to be emulated digitally, offering advantages such as resource savings, security and flexibility. These resources have been gaining relevance in the teaching of experimental sciences, so it is important to analyse their application and impact in this educational field. The main objective of this research is to characterise the scientific production on virtual laboratories in the teaching of experimental sciences in secondary education. To this end, the following research questions are posed: Which are the most used laboratories in research on the teaching-learning of experimental sciences? Which are the most addressed topics and contents? Which technology is the most used, which are the most analysed age groups and what are the results obtained when applying these resources? To answer all of these questions, a systematic review was carried out following the Newman and Gough model as well as the PRISMA guidelines. The search was carried out in three databases: Scopus, ERIC and WoS. A total of 221 articles were identified, of which 38 articles published between 2015 and 2023 were selected, as they met all the inclusion criteria. The results show that the most frequent virtual laboratories are PhET and Go-Lab and that Physics is the most common subject, followed by Chemistry, Biology and Natural Sciences. The most recurrent contents are electrical circuits in Physics and genetics in Biology. The predominant technology is web applications and the most frequently analysed age groups are 16 and 13 years old. In most cases, the use of virtual laboratories yielded positive results in terms of academic performance, comprehension and student attitudes. It is concluded that PhET and Go-Lab laboratories are widely used because of their free access and variety of practices, and that there is increasing interest in investigating their use in Physics. More research on optimal methodologies is needed so as to integrate these resources and analyse their long-term impact, as well as to fill the existing gap in Geology. Future research is expected to explore the impact of artificial intelligence on the development of new virtual laboratories.

