

# Impacto del uso didáctico del laboratorio virtual PhET en la comprensión del tema electricidad en estudiantes de segundo de bachillerato técnico

*Impact of the didactic use of a virtual laboratory on the comprehension of the topic electricity in secondary school students*

- 1 Diego Fernando Pérez Valverde  <https://orcid.org/0009-0002-2101-6864>  
Universidad Bolivariana del Ecuador, Durán, Ecuador  
[dfperezv@ube.edu.ec](mailto:dfperezv@ube.edu.ec)
- 2 Jorge Ernesto Inca Pilco  <https://orcid.org/0009-0002-3717-4592>  
Universidad Bolivariana del Ecuador, Durán, Ecuador  
[jeincap@ube.edu.ec](mailto:jeincap@ube.edu.ec)
- 3 Jacqueline Alexandra Villacís Tagle  <https://orcid.org/0009-0008-2197-5698>  
Universidad Bolivariana del Ecuador, Durán, Ecuador  
[javillacist@ube.edu.ec](mailto:javillacist@ube.edu.ec)
- 4 Odette Martínez Pérez  <https://orcid.org/0000-0001-6295-2216>  
Universidad Bolivariana del Ecuador, Durán, Ecuador  
[omartinezp@ube.edu.ec](mailto:omartinezp@ube.edu.ec)



## Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 17/07/2024

Revisado: 12/08/2024

Aceptado: 24/09/2024

Publicado: 05/10/2024

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v7i4.3165>

## Cítese:

Pérez Valverde, D. F., Inca Pilco, J. E., Villacís Tagle, J. A., & Martínez Pérez, O. (2024). Impacto del uso didáctico del laboratorio virtual PhET en la comprensión del tema electricidad en estudiantes de segundo de bachillerato técnico. *ConcienciaDigital*, 7(4), 29-52. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v7i4.3165>



**CONCIENCIA DIGITAL**, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://concienciadigital.org>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) [www.celibro.org.ec](http://www.celibro.org.ec)

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons AttributionNonCommercialNoDerivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

**Palabras claves:**

Laboratorio virtual, PhET, Electricidad, Bachillerato, Educación Técnica.

**Resumen**

**Introducción:** La enseñanza de electricidad y circuitos eléctricos es crucial en la formación técnica, pero los estudiantes enfrentan dificultades debido a la falta de experimentación práctica en laboratorios. El uso de laboratorios virtuales puede ser una alternativa efectiva para mejorar el aprendizaje en esta área. **Objetivo:** Determinar el impacto del uso didáctico del laboratorio virtual PhET en la comprensión del tema electricidad en estudiantes de segundo de bachillerato técnico. **Metodología:** El estudio adoptó el diseño cuasiexperimental de pretest, postest y grupo control. La muestra para el estudio estuvo compuesta por 26 estudiantes de segundo de bachillerato pertenecientes a dos grupos predeterminados y que compusieron el grupo experimental y de control, respectivamente. Los grupos experimentales fueron expuestos a estrategias de instrucción con el uso de un laboratorio virtual, mientras que al grupo de control se le enseñó utilizando la estrategia de laboratorio convencional. Los instrumentos utilizados para el pre y post-test fueron dos cuestionarios de opción múltiple de 20 preguntas que fueron diseñado por los autores y validados por expertos. Las preguntas generales planteadas para el estudio fueron respondidas mediante estadística descriptiva. Se utilizó la prueba t independiente y pareada para comparar las puntuaciones del pre y post test de los grupos y analizar si existen diferencias significativas. **Resultados:** Los resultados obtenidos demostraron que el uso del laboratorio virtual PhET para la enseñanza de la temática electricidad tuvo un impacto positivo en la comprensión conceptual de los estudiantes de bachillerato técnico. Los análisis estadísticos revelaron diferencias significativas entre el desempeño del grupo experimental que utilizó PhET y el grupo de control que recibió instrucción tradicional. Mientras que todos los estudiantes del grupo experimental lograron dominar los aprendizajes sobre circuitos eléctricos de corriente continua, en el grupo de control solo dos estudiantes alcanzaron este nivel de dominio. Estas diferencias se atribuyen a las representaciones visuales animadas que PhET brinda sobre conceptos abstractos como el movimiento de electrones, permitiendo a los estudiantes comprender fenómenos no observables en la realidad física. **Conclusión:** La implementación del laboratorio virtual PhET demostró ser más

---

efectiva que la instrucción tradicional para la enseñanza de la electricidad en bachillerato técnico. Si bien los laboratorios virtuales no deben reemplazar a los físicos, su uso complementario permite a los estudiantes comprender mejores conceptos abstractos y adquirir una comprensión integral de fenómenos científicos. Esta investigación aporta evidencia sobre la utilidad de recursos tecnológicos innovadores como PhET en la educación en ciencias. **Área de estudio general:** Educación. **Área de estudio específica:** Electricidad. **Tipo de estudio:** Artículos originales.

---

**Keywords:**

Virtual  
Laboratory, PhET,  
Electricity, High  
School, Technical  
Education.

**Abstract**

**Introduction:** Teaching electricity and electrical circuits is crucial in technical training, but students face difficulties due to the lack of firsthand experimentation in laboratories. The use of virtual laboratories can be an effective alternative to improve learning in this area. **Objective:** To determine the impact of the didactic use of the PhET virtual laboratory on the understanding of electricity in second year technical high school students. **Methodology:** The study adopted the quasi-experimental design of pretest, post test and control group. The sample for the study consisted of 26 high school sophomore students belonging to two predetermined groups that composed the experimental and control groups, respectively. The experimental groups were exposed to instructional strategies using a virtual laboratory, while the control group was taught using the conventional laboratory strategy. The instruments used for the pre- and post-test were two 20-question multiple-choice questionnaires that were designed by the authors and validated by experts. The frequent questions posed for the study were answered using descriptive statistics. The independent paired t-test was used to compare the pre- and post-test scores of the groups and to analyze if there are significant differences. **Results:** The results obtained showed that the use of the PhET virtual laboratory for teaching electricity had a positive impact on the conceptual understanding of technical high school students. Statistical analyses revealed significant differences between the performance of the experimental group that used PhET and the control group that received traditional instruction. While all students in the experimental group achieved mastery of learning

---

---

about DC electrical circuits, only two students in the control group achieved this level of mastery. These differences are attributed to the animated visual representations that PhET provides of abstract concepts such as electron motion, allowing students to understand phenomena that are not observable in physical reality. **Conclusion:** The implementation of the PhET virtual laboratory proved to be more effective than traditional instruction for teaching electricity in technical high school. While virtual laboratories should not replace physical laboratories, their complementary use allows students to better grasp abstract concepts and acquire a comprehensive understanding of scientific phenomena. This research provides evidence on the usefulness of innovative technological resources such as PhET in science education.

---

## 1. Introducción

La instrucción en el análisis de circuitos eléctricos y electrónicos constituye un aspecto fundamental en la formación de los futuros profesionales en disciplinas vinculadas con la electrónica y las telecomunicaciones (Rodríguez-García et al., 2021).

En las últimas décadas, se han llevado a cabo diversas investigaciones educativas centradas en las dificultades de aprendizaje en el ámbito de la electricidad. Estas investigaciones han destacado que los estudiantes tienden a emplear intuitivamente ideas personales y modelos mentales alternativos al realizar predicciones sobre el funcionamiento de circuitos eléctricos básicos (Pontes, 2022).

Estos modelos mentales, al manifestarse como nociones no científicas resistentes al cambio en entornos educativos convencionales, surgen en diversos contextos, perduran a lo largo de distintos niveles educativos y afectan a estudiantes de diversas edades y nacionalidades (Pontes, 2021).

Estos modelos mentales erróneos sobre la temática electricidad pueden deberse a la falta de comprensión holística de la temática electricidad, ocasionada, muchas veces por el tratamiento meramente teórico de la información, sin involucrar la parte práctica y real, lograda a través de la experimentación en el laboratorio, que en muchas instituciones educativas no se realiza por la falta de infraestructura y recursos existentes.

Es así como según Potkonjak et al. (2016), el aprendizaje de las ciencias se ha visto obstaculizado debido a la falta de equipamiento o a la inadecuación del equipo de laboratorio en los centros educativos. En este contexto, surge la urgencia de implementar un nuevo entorno de laboratorio alternativo y no convencional, que permita a los estudiantes llevar a cabo diversos experimentos en cualquier momento y en un entorno seguro, esto es especialmente necesario en unidades educativas técnicas donde la práctica es una pieza clave de la formación de los estudiantes.

Una solución viable para superar estos desafíos radica en la incorporación de laboratorios virtuales. Un laboratorio virtual se define como un conjunto de programas informáticos que posibilitan la visualización de fenómenos complejos que suelen tener lugar en entornos de laboratorios reales (Syahfitri et al., 2020). Los laboratorios virtuales ofrecen simulaciones de laboratorios convencionales que adoptan un enfoque centrado en el estudiante, proporcionando al alumno representaciones virtuales de objetos reales utilizados en entornos tradicionales de laboratorio. Estos entornos virtuales pueden enriquecer los procesos de enseñanza y aprendizaje al permitir a los estudiantes participar activamente en experiencias prácticas, ofreciendo actividades estimulantes y entretenidas que fomentan la exploración y promoviendo una interacción dinámica en el aula a través de debates y discusiones (Gunawan et al., 2019).

El uso de laboratorios virtuales ofrece a los estudiantes la oportunidad de investigar escenarios que resultan imposibles de reproducir en la realidad, lo que les permite ajustar los experimentos a una duración diferente a la que requeriría la experiencia real (Aldrich, 2005).

Además, los instrumentos de laboratorio virtual son más fáciles de usar y montar que los equipos convencionales, ahorrando tiempo y espacio lo que los hace una alternativa más eficiente que los laboratorios tradicionales en estos aspectos (Reese, 2013).

Por otro lado, la utilización de laboratorios virtuales transforma a los estudiantes en aprendices activos, ofreciéndoles la posibilidad de aprender a su propio ritmo y comprender conceptos prácticos desafiantes. Los alumnos se sumergen en un entorno de aprendizaje virtual que les permite conectar nuevos conocimientos con información previamente adquirida mediante la manipulación directa de dispositivos a través de un programa informático (Ojo & Owolabi, 2020)

En la actualidad, existe una gran cantidad de laboratorios virtuales destinados al aprendizaje de las ciencias, entre ellos tenemos a la plataforma Go-Lab (*Global Online Science Labs for Inquiry Learning in Schools*), que es un proyecto de la Unión Europea que desde 2012 promueve el interés en STEM y habilidades científicas en estudiantes de 10 a 18 años mediante la experimentación guiada (Go-Lab, 2023).

Otro laboratorio virtual muy utilizado es *Crocodile Physics*, el cual está diseñado específicamente para la enseñanza de la Física. Este laboratorio contiene animaciones que permiten observar conceptos ocultos y experimentos que no pueden ser estudiados en laboratorios físicos. En este laboratorio virtual los usuarios tienen la opción de modelar experimentos relacionados con electricidad (Rodríguez-Abril et al., 2021).

Entre los simuladores más utilizados se encuentra Algodoo, creado en 2008 por Emil Ernerfeldt como proyecto-tesis de fin de máster en la Universidad de Umeå, Suecia. Algodoo fue creado para ser utilizado en el aula. Esta herramienta se ha actualizado frecuentemente, mejorando su rendimiento y aspecto, e incorporando nuevas funciones y traducciones. Este simulador cubre una amplia gama de temáticas relacionadas con la física y la tecnología (Mendoza, 2021).

Al hablar de laboratorios virtuales, existen plataformas poco conocidas como por ejemplo la creada por Salvador Hurtado Fernández, profesor de física y química de Sevilla, esta herramienta llamada “Laboratorio virtual” contiene 35 simulaciones destinadas a la práctica experimental de las asignaturas de física y química en diferentes niveles, este laboratorio contiene su propia guía, simulador y actividades, constituyéndose en una guía didáctica que permite suplir la falta de horas y equipos para realizar prácticas experimentales en laboratorios reales (Hurtado, 2024).

Otra plataforma con simuladores virtuales poco conocida es Educaplus, creado por Jesús Peñas Cano, profesor de física y química. Esta herramienta contiene interesantes simuladores, laboratorios virtuales y recursos interactivos de las asignaturas de física, química, matemática, biología, ciencias de la tierra, educación artística y tecnología. También contiene juegos didácticos que permiten el repaso de las asignaturas antes mencionadas. Este proyecto le ha valido numerosos premios y reconocimientos a su autor (Peñas, 2014).

Entre otro de los laboratorios conocidos tenemos a *Chem Collective*, plataforma que contiene una colección de laboratorios virtuales, actividades de aprendizaje basadas en escenarios, tutoriales y pruebas de conceptos. Esta herramienta está diseñada para ser utilizada como alternativa o apoyo a los laboratorios reales y sus actividades pueden trabajarse de manera individual o en equipo, donde los estudiantes pueden repasar y aprender conceptos de química complicados (ChemCollective, 2024).

Aunque existe una gran cantidad de plataformas que proporcionan laboratorios virtuales para la enseñanza de las ciencias, al momento de realizar estudios sobre el impacto de laboratorios virtuales en la educación se ha encontrado que PhET es el laboratorio virtual más usado (Campos & Benarroch, 2024). *PhET (Physics Education Technology)* es desarrollado por la Universidad de Colorado, está disponible gratuitamente en su sitio web ([www.phet.colorado.edu](http://www.phet.colorado.edu)). Este sitio web consta de más de 167 simulaciones

interactivas para las asignaturas de física, química, biología, matemáticas y ciencias de la tierra, a las cuales se puede acceder tanto online como offline. Estas simulaciones están diseñadas para ser entornos de aprendizaje altamente interactivos, atractivos y abiertos que brindan comentarios animados al usuario. Las simulaciones modelan representaciones dinámicas, altamente visuales y físicamente precisas (Finkelstein et al., 2005). La principal ventaja de las simulaciones PhET es que contienen una guía para el docente, así como actividades y hojas de trabajo para los estudiantes. Las simulaciones de PhET están basadas en investigaciones educativas extensivas, gracias a las cuales tienen la posibilidad de involucrar a los estudiantes mediante un ambiente intuitivo tipo juego, donde aprenden explorando y descubriendo (PhET Interactive Simulations, 2024).

En los últimos años, se han llevado a cabo diversos estudios para evaluar el efecto de los laboratorios virtuales en la enseñanza de la temática: electricidad. Así tenemos a Taramopoulos & Psillos (2017), quienes estudiaron el impacto de entornos de laboratorio virtual en la comprensión de estudiantes de secundaria sobre circuitos eléctricos, concluyendo que, la combinación de representaciones concretas y abstractas dinámicamente vinculadas promovió una comprensión más profunda por parte de los estudiantes de fenómenos complejos relacionados con la temática. Los mismos autores llevaron a cabo un estudio similar en el año 2019, con el propósito de investigar y analizar el impacto de los laboratorios virtuales en el desarrollo cognitivo y la capacidad de representación de los estudiantes de secundaria. Según el informe de los autores, los estudiantes que emplearon representaciones concretas y abstractas dinámicamente interconectadas de circuitos eléctricos durante la instrucción demostraron una mayor comprensión en comparación con aquellos que no utilizaron dichas representaciones, especialmente en la comprensión y transformación de circuitos eléctricos más complejos (Taramopoulos & Psillos, 2019).

Por su parte Faour & Ayoubi (2018), llevaron a cabo un estudio que analizaba el impacto del empleo de un laboratorio virtual en la comprensión conceptual de los estudiantes acerca del circuito eléctrico de corriente continua, así como en sus actitudes hacia la asignatura de Física. En este contexto, se empleó el laboratorio virtual PhET. Los resultados obtenidos indicaron que, tras 10 semanas de instrucción con dicho laboratorio, se observó una notable mejora en la comprensión conceptual del circuito eléctrico de corriente continua por parte de los estudiantes, reflejada en un mejor desempeño en las evaluaciones.

Asimismo Famani et al. (2019), investigaron la efectividad diseño de aprendizaje sobre la Ley de Inducción de Faraday usando una simulación de Laboratorio Electromagnético de PhET en la comprensión de los estudiantes y concluyeron que, el uso del laboratorio virtual ayudó a los estudiantes a comprender de mejor manera la Ley de Inducción de Faraday.

De igual manera, en un estudio llevado a cabo por Sharifov (2020), se examinó el impacto y la relevancia de los laboratorios virtuales en el fomento de un entendimiento más profundo de conceptos científicos y el desarrollo de habilidades prácticas superiores en el campo del electromagnetismo entre estudiantes de noveno grado de educación secundaria. Los resultados de su investigación revelaron que la utilización del laboratorio virtual PhET permitió a estos estudiantes mejorar su capacidad de pensamiento crítico, potenciar sus habilidades creativas y fortalecer su competencia para abordar con éxito tareas complejas relacionadas con el electromagnetismo.

Por su parte Pontes (2022), llevó a cabo un análisis del impacto derivado de la utilización educativa del laboratorio virtual PhET. Este recurso permite a los estudiantes llevar a cabo tareas de indagación y modelización en relación con el funcionamiento de circuitos eléctricos de corriente continua. Tras la implementación de este laboratorio virtual como la principal herramienta educativa, se observó una notable mejora en la comprensión de los estudiantes respecto al funcionamiento de los circuitos eléctricos.

Los estudios reportados dan una idea del impacto positivo del uso de laboratorios virtuales en la enseñanza de la temática electricidad. Sin embargo, ninguno de los estudios reportados trabaja con estudiantes del área técnica, por lo que la presente investigación plantea como objetivo determinar el impacto del uso didáctico del laboratorio virtual PhET en la comprensión del tema electricidad en estudiantes de segundo de bachillerato técnico.

Las preguntas de investigación que se plantean en este estudio son:

1. ¿Existe una diferencia significativa entre los puntajes de la prueba previa del grupo experimental en el que se aplicó el método de laboratorio virtual y el grupo de control en el que se aplicó el método prescrito en el plan de estudios de la asignatura de Electricidad?
2. ¿Existe una diferencia significativa entre los puntajes posteriores a la prueba del grupo experimental en el que se aplicó el método de laboratorio virtual y el grupo de control al que se le aplicó el método prescrito en el plan de estudios de la asignatura de Electricidad?

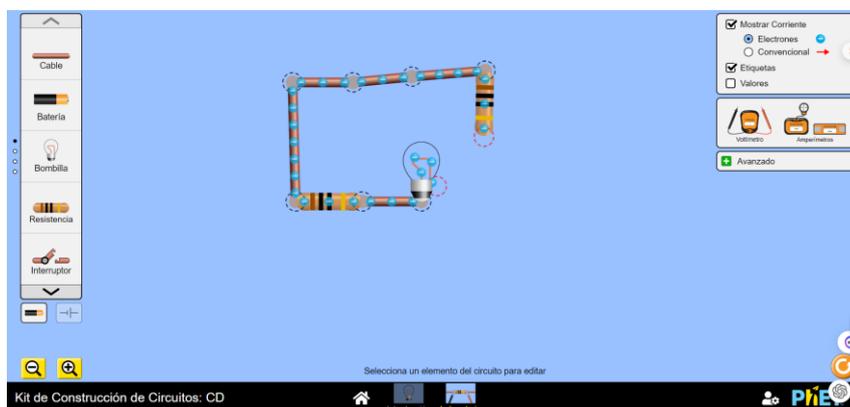
## 2. Metodología

El presente adoptó un diseño cuasi-experimental con pre-test y post-test y con grupo control. La población para el estudio estuvo compuesta por 26 estudiantes de segundo de bachillerato técnico de la especialidad mecánica automotriz pertenecientes a la Unidad Educativa Carlos Cisneros ubicada en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo-Ecuador. Dado que la población era manejable, no se consideró necesario utilizar una muestra, ya que se trabajó con la totalidad de la población.

Los estudiantes con los que se trabajó pertenecían a dos grupos formados de manera predeterminada, mismos que constituyeron el grupo experimental y de control. Al grupo experimental, compuesto por 13 estudiantes, se le enseñó la temática: circuito eléctrico de corriente continua correspondiente al módulo de electricidad, utilizando la estrategia didáctica de clases demostrativas interactivas con el uso del laboratorio virtual PhET, específicamente la simulación titulada Kit de Construcción de Circuitos: CD (ver figura 1), mientras que, al grupo de control se le enseñó la misma temática utilizando la estrategia de laboratorio convencional.

**Figura 1**

*Simulación Kit de Construcción de Circuitos: CD de PhET*



**Fuente:** PHET Interactive Simulations (2024)

Los instrumentos utilizados en la presente investigación fueron dos cuestionarios de opción múltiple diseñado por los autores, mismos que se usaron como pre y post test, respectivamente, con el fin de evaluar la comprensión conceptual de los estudiantes antes y después de la instrucción y comparar la eficiencia del laboratorio virtual y las demostraciones interactivas utilizando equipos de laboratorio reales.

El pre-test y el post-test aplicados consistieron en cuestionarios de opción múltiple de 20 preguntas cada uno.

Para probar la confiabilidad de los cuestionarios, se utilizó la fórmula 20 de Kuder-Richardson. La confiabilidad establecida del pre-test fue de 0,787 y la del post-test fue de 0,795. Para probar la validez de contenido de los cuestionarios y asegurar que las pruebas midan realmente lo que se pretende medir, se presentó los instrumentos y los objetivos correspondientes a tres expertos en área de electricidad y de educación, quienes afirmaron que la prueba era válida y adecuada para el nivel de bachillerato técnico.

Previo a la realización del estudio se solicitó el permiso correspondiente a la autoridad de la Institución educativa y se informó a los participantes sobre la investigación a realizar,

además en los instrumentos de recolección de datos que llenaron los estudiantes se colocó el consentimiento informado a fin de utilizar los datos recopilados para fines investigativos únicamente.

La instrucción tanto en el grupo experimental como de control se llevó a cabo durante 4 semanas durante tres períodos por semana, de 45 minutos cada uno. Al inicio de la instrucción, cada alumno de cada uno de los dos grupos completó el pre-test, durante 60 minutos, para indagar su comprensión conceptual inicial sobre la temática electricidad.

Durante la instrucción los estudiantes del grupo experimental trabajaron en el laboratorio virtual PhET con la estrategia de instrucción en pares, utilizando una hoja de trabajo, misma que se encontraba disponible en la sección de actividades de PhET, esta hoja la completaron en equipos con la guía del docente.

Al final de la instrucción, los estudiantes de ambos grupos fueron evaluados nuevamente, durante 60 minutos, usando el post-test.

Los datos recopilados fueron cotejados y analizados. Las preguntas de investigación planteadas fueron respondidas mediante estadística descriptiva de media y gráfico de barras con la ayuda del software estadístico SPSS versión 28. Se utilizó la prueba t independiente para comparar las puntuaciones del pre y post-test de los grupos y analizar si existen diferencias significativas.

Además, para determinar el grado de impacto del programa de formación en los estudiantes se tomó como base el nivel dos del modelo de Kirkpatrick (2007), en el cual se determina si se produjo la transferencia de conocimientos de los estudiantes, para ello se tomó en cuenta los resultados obtenidos por los estudiantes en el post-test y se valoraron los mismos con el baremo del rendimiento académico basado en los parámetros de la evaluación del Ministerio de Educación del Ecuador. Asimismo, se compararon los puntajes obtenidos en el post-test en el grupo experimental versus el grupo de control.

### 3. Resultados

Los resultados del pretest tanto del grupo experimental (GE) como del grupo de control (GC) se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Resultados del pre-test*

Agrupaciones Temáticas	% de Acierto
Tipos de materiales (conductores o no conductores)	Ítem 1 GE= 100
	GC= 100

**Tabla 1**
*Resultados del pre-test (continuación)*

Agrupaciones Temáticas	% de Acierto	
Unidades de medida (resistencia eléctrica, intensidad de corriente, voltaje)	Ítem 2	GE= 92,3 GC= 84,6
	Ítem 3	GE= 92,3 GC= 92,3
	Ítem 4	GE= 92,3 GC= 92,3
Tipo de corriente	Ítem 5	GE= 53,8 GC= 84,6
Conceptos básicos sobre electricidad (Intensidad de corriente, resistencia eléctrica, voltaje, potencia eléctrica, electricidad, circuito eléctrico)	Ítem 6	GE= 38,5 GC= 69,2
	Ítem 8	GE= 61,5 GC= 92,3
	Ítem 9	GE= 53,8 GC= 76,9
	Ítem 12	GE= 53,8 GC= 69,2
	Ítem 13	GE= 92,3 GC= 100
Leyes (Ley de Ohm)	Ítem 14	GE= 61,5 GC= 84,6
	Ítem 7	GE= 46,2 GC= 92,3
Símbolos	Ítem 17	GE= 92,3 GC= 100
	Ítem 10	GE= 92,3 GC= 84,6
Elementos Básicos de un circuito de iluminación	Ítem 11	GE= 46,2 GC= 46,2
	Ítem 19	GE= 53,8 GC= 53,8
Aplicaciones prácticas	Ítem 15	GE= 76,9 GC= 76,9
	Ítem 16	GE= 46,2 GC= 30,8

**Tabla 1**

*Resultados del pre-test (continuación)*

Agrupaciones Temáticas	% de Acierto	
Tipos de circuito	Ítem 18	GE= 76,9
		GC= 92,3
Tipos de energía	Ítem 20	GE= 38,5
		GC= 92,3

Para responder a la primera pregunta de investigación, se realizó una prueba t independiente sobre las puntuaciones del pre-test en el software SPSS vs. 28, el cual arrojó los datos que se encuentran en la tabla 2. Los resultados mostraron que hubo diferencia significativa entre las puntuaciones medias de los grupos experimental y de control ( $p = 0,027$ ), revelando que los dos grupos se diferencian al inicio del estudio, siendo el grupo de control el que obtiene mejor puntuación media (16,15/20) en el pretest, frente a la puntuación media de 13,62/20 (ver tabla 2) del grupo experimental. En base a estos resultados se asume que el grupo de control inicia con una cierta ventaja en conocimiento frente al grupo experimental.

**Tabla 2**

*Puntuaciones medias obtenidas y resultados de la prueba t por los grupos en el pre-test*

Tipo de grupo	N	Media	Significación P de dos factores
Experimental	13	13,62	0,027
Control	13	16,15	

Para probar si la contribución del laboratorio virtual y las demostraciones interactivas utilizando equipos de laboratorio reales producen una comprensión conceptual del tema electricidad en estudiantes de segundo de bachillerato técnico, se elaboró un post-test con preguntas de opción múltiple que incluía preguntas complejas sobre la temática electricidad, este test se aplicó a ambos grupos.

Los resultados del post-test tanto del grupo experimental (GE) como del grupo de control (GC) se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3**
*Resultados del post-test*

Agrupaciones Temáticas	% de Acierto		
Circuitos y Voltaje (aplicaciones)	Ítem 1	GE= 100 GC= 53,8	
	Ítem 2	GE= 100 GC= 69,2	
	Ítem 3	GE= 100 GC= 61,5	
	Ítem 4	GE= 100 GC= 100	
	Ítem 7	GE= 100 GC= 92,3	
	Ítem 8	GE= 100 GC= 69,2	
	Ítem 9	GE= 100 GC= 61,5	
	Ítem 10	GE= 100 GC= 100	
	Ítem 13	GE= 100 GC= 84,6	
	Ítem 14	GE= 100 GC= 92,3	
	Ítem 15	GE= 100 GC= 100	
	Ítem 19	GE= 100 GC= 53,8	
	Tipos de materiales (conductores, no conductores)	Ítem 5	GE= 100 GC= 100
	Tipos de circuitos	Ítem 6	GE= 100 GC= 23,0
	Cargas	Ítem 11	GE= 100 GC= 69,2
Ítem 17		GE= 100 GC= 38,5	

**Tabla 3**

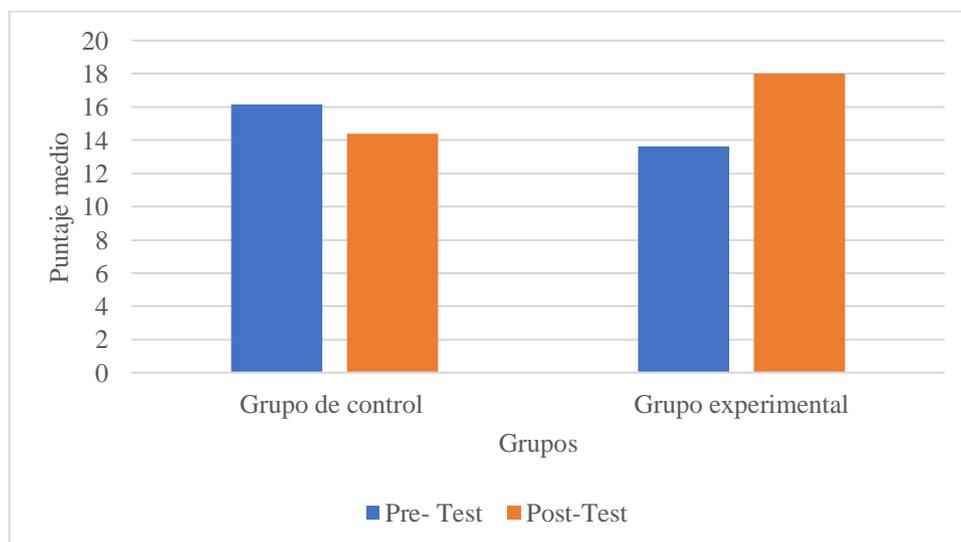
*Resultados del post-test (continuación)*

Agrupaciones Temáticas	% de Acierto	
Potencia	Ítem 12	GE= 100 GC= 100
	Ítem 18	GE= 0 GC= 30,8
Luminosidad	Ítem 16	GE= 100 GC= 53,8
	Ítem 20	GE= 0 GC= 84,6

Se realizó una comparación entre el puntaje del pre y del post-test de cada grupo. La figura 2 muestra las puntuaciones medias de cada grupo (GE y GC) en el pre y post-test, donde se puede observar que el grupo experimental obtiene una mejora en la puntuación del post-test con relación al pre-test, mientras que en el grupo de control ocurre lo contrario, a pesar de que los estudiantes de este último grupo iniciaron con una ventaja en conocimiento frente al grupo experimental, esto puede deberse a la diferencia entre el cuestionario de pre y post, ya que el primero involucró preguntas sencillas de conocimientos básicos sobre el tema electricidad, mientras que el segundo incluyó ítems de aplicación y de razonamiento que requieren un conocimiento sólido de la temática.

**Figura 2**

*Puntuaciones medias de los grupos en el pre y post-test*



Se realizó una prueba t pareada, prueba estadística que compara las medias de dos grupos relacionados para determinar si las diferencias observadas entre ellos son significativas desde un punto de vista estadístico ( $p < 0,05$ ). Esta prueba se utilizó para comparar las puntuaciones obtenidas en el pre y post-test en ambos grupos. Se encontró que, existen diferencias significativas entre los resultados del pre y del post-test solamente en el grupo experimental ( $p < ,001$ ), pero no en el grupo de control ( $p = 0,075$ ), mostrando una mejora de 4,385 puntos en la media del grupo experimental (ver tabla 4) después de la instrucción basada en el uso del laboratorio virtual PhET.

**Tabla 4**

*Diferencias encontradas entre los grupos en el pre y post-test*

Pares	Media	Diferencia de medias	Significación P de dos factores
Par 1	GCPost	14,38	0,075
	GCPre	16,15	
Par 2	GEPPost	18,00	<0,001
	GEPpre	13,62	

Con el fin de contestar la segunda pregunta de investigación, se realizó la comparación de medias mediante una prueba t de muestras independientes para los resultados del post-test de ambos grupos, obteniéndose los resultados que se observan en la tabla 5, donde se aprecia que  $p < 0,001$ , por lo que se concluye que sí existen diferencias estadísticamente significativas entre los resultados del post-test del grupo experimental y el grupo de control, siendo el primero el que obtiene mejores resultados (18/20), es decir 3,615 puntos por encima del grupo de control (13,48). Esto sugiere que la estrategia de instrucción utilizando el laboratorio virtual PhET fue más efectiva que la estrategia tradicional para la enseñanza de la temática electricidad.

**Tabla 5**

*Puntuaciones medias obtenidas y resultados de la prueba t por los grupos en el post-test*

Grupo	N	Media	Diferencia de medias	Significación P de dos factores
Post	Grupo Experimental	13	18,00	<0,001
	Grupo de control	13	14,38	

Finalmente, se compararon los resultados de los estudiantes de ambos grupos en el post-test con el baremo de evaluación del Ministerio de Educación del Ecuador para determinar si los estudiantes habían alcanzado o no los conocimientos mínimos de la asignatura, para ello se calculó las calificaciones obtenidas por los estudiantes en base 10.

Se utilizó la siguiente equivalencia:

- 9.00-10.00: Dominó los aprendizajes (DA)
- 7.00-8.99: Alcanzó los aprendizajes (AA)
- 4.01-6.99: Próximo a alcanzar los aprendizajes (PA)
- < = 4: No alcanzó los aprendizajes (NA)

La tabla 6 muestra que todos los estudiantes del grupo experimental lograron dominar los conocimientos sobre electricidad, mientras que, en el grupo de control solamente dos estudiantes lograron el dominio de los aprendizajes, existiendo cinco estudiantes que alcanzaron los aprendizajes mínimos y seis que están próximos a alcanzar los aprendizajes mínimos. Estos resultados muestran que sí se produjo la transferencia de conocimientos en los estudiantes del grupo experimental en la temática electricidad, alcanzando el nivel dos del modelo de Kirkpatrick (2007).

Estos resultados confirman que la estrategia de instrucción usando un laboratorio virtual resultó más efectiva que la estrategia de instrucción tradicional.

**Tabla 6**

*Promedio de calificaciones obtenidas por los estudiantes en el post-test y su significado*

Nº Sujeto	Calificación	Valoración	Nº Sujeto	Calificación	Valoración
GE			GC		
1	9	DA	1	8	AA
2	9	DA	2	8	AA
3	9	DA	3	6,5	PA
4	9	DA	4	6,5	PA
5	9	DA	5	6,5	PA
6	9	DA	6	7,5	AA
7	9	DA	7	6,5	PA
8	9	DA	8	8,5	AA
9	9	DA	9	6,5	PA

**Tabla 6**

*Promedio de calificaciones obtenidas por los estudiantes en el post-test y su significado (continuación)*

N° Sujeto	Calificación	Valoración	N° Sujeto	Calificación	Valoración
GE			GC		
10	9	DA	10	9,5	DA
11	9	DA	11	9	DA
12	9	DA	12	7	AA
13	9	DA	13	5,5	PA
Promedio:	9	DA		7,19	AA

#### 4. Discusión

Los datos recopilados en el pre-test permitieron responder la primera pregunta de investigación, encontrándose que hubo diferencias significativas entre los puntajes de los estudiantes del grupo experimental y los del grupo de control, siendo estos últimos los que obtienen mejores resultados, iniciando con una ventaja sobre el conocimiento básico de la temática electricidad. A pesar de esta ventaja, el análisis de los resultados del post-test reveló que los estudiantes del grupo experimental, quienes utilizaron el laboratorio virtual PhET, demostraron un desempeño significativamente superior en comparación con los del grupo de control, que recibieron instrucción a través de demostraciones interactivas con equipos de laboratorio reales. Aunque la muestra era reducida, se evidenció de manera clara que la utilización del laboratorio virtual generó un impacto considerable en la comprensión conceptual de los estudiantes acerca del tema de electricidad. Todos los estudiantes del grupo experimental lograron dominar los conceptos aprendidos, a diferencia del grupo de control, donde solo dos estudiantes alcanzaron este nivel.

Este resultado puede atribuirse a la propiedad de la simulación del Kit de Construcción de Circuitos (KCC) de PhET, la cual proporciona una explicación visual y animada del aspecto microscópico de los circuitos eléctricos. El KCC representa los electrones, normalmente invisibles, con esferas azules, mostrando su movimiento hipotético dentro del circuito y cómo dicho movimiento puede ser afectado por la resistencia en el circuito y por la diferencia de potencial de la fuente. De esta forma, ilustra cómo varía la luminosidad de la bombilla y cómo cambia la corriente en función de los factores previamente mencionados. Tales representaciones visuales no son viables en un entorno de laboratorio convencional (Perkins et al., 2005).

Esta forma de representar conceptos abstractos, que no pueden ser vistos de forma física, hace que los estudiantes que fueron instruidos en la temática electricidad utilizando la simulación de PhET, estén más capacitados para realizar las predicciones sobre conceptos abstractos aplicados a situaciones reales que se incluyeron como ítems en el instrumento utilizado para el post-test.

Los hallazgos de esta investigación son consistentes con estudios previos como los de Shegog et al. (2011), Taramopoulos & Psillos (2017), Faour & Ayoubi (2018), Famani et al. (2019), Sharifov (2020) y Pontes (2022), en los que los laboratorios virtuales resultaron ventajosos y mejoraron la comprensión de los estudiantes en temáticas complejas relacionadas con la Física.

Sin embargo, es importante señalar que los resultados obtenidos en el presente estudio tienen un alcance limitado debido al tamaño reducido de la muestra, conformada solo por 26 estudiantes pertenecientes a dos grupos de una misma institución educativa. Si bien los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas a favor del grupo experimental que utilizó PhET, no se puede generalizar estos hallazgos a otras poblaciones estudiantiles. Para poder establecer conclusiones más robustas y generalizables sería necesario replicar el estudio con muestras más grandes y diversas, que incluyan estudiantes de múltiples instituciones educativas y distintos contextos socioculturales y económicos. Además, sería recomendable ampliar el tiempo de implementación de la estrategia con PhET para evaluar su impacto a más largo plazo. A pesar de estas limitaciones, la investigación realizada sienta una base empírica prometedora sobre la utilidad de los laboratorios virtuales como PhET en la enseñanza de la electricidad en bachilleratos técnicos.

Por otro lado, se debe destacar que, los resultados de esta investigación difieren con algunas investigaciones previas como las realizadas por Quinn et al. (2009), Zacharia & Olympiou (2011), Falode & Onasanya (2015), Husnaini & Chen (2019) y Kapici et al. (2022), quienes sostienen que los resultados del aprendizaje no experimentan cambios significativos al reemplazar los laboratorios físicos con los virtuales.

La discrepancia entre los hallazgos de este estudio y algunas investigaciones previas podría atribuirse a la naturaleza de los conceptos enseñados, el tipo de laboratorio virtual empleado, la presencia de variables extrañas, el tamaño de la muestra, la variedad de diseños utilizados, así como al análisis estadístico, entre otros factores. Por consiguiente, es importante llevar a cabo más investigaciones en este ámbito.

Otra razón, que puede explicar estas diferencias es que los laboratorios virtuales y los físicos se complementan, aportando beneficios en diferentes ámbitos de la enseñanza. Es así como, como mencionan De Jong et al. (2013), los beneficios de los laboratorios virtuales se manifiestan cuando los estudiantes tienen la oportunidad de investigar

fenómenos no observables que no son accesibles en entornos físicos, llevar a cabo un mayor número de experimentos de los que serían factibles en un laboratorio convencional, establecer conexiones entre fenómenos observables y a nivel atómico, o comparar distintas representaciones de fenómenos similares. Por otro lado, los laboratorios físicos presentan ventajas cuando el propósito de la enseñanza es que los estudiantes desarrollen una epistemología sofisticada de la ciencia, lo que implica la capacidad de interpretar mediciones imperfectas y adquirir destrezas prácticas.

Es así como los laboratorios virtuales no deben reemplazar a los físicos, más bien deben complementarlos, ya que se obtienen mejores resultados al combinar las prácticas virtuales con las sesiones prácticas tradicionales (Sypsas & Kalles, 2018). Esta combinación permite a los estudiantes contrastar dos representaciones posiblemente distintas del mismo fenómeno y emplear el razonamiento abstracto para analizar las discrepancias, lo que les otorga una comprensión más detallada de los fenómenos científicos y fortalece su capacidad de investigación De Jong et al. (2013).

## 5. Conclusiones

- El presente estudio demostró que la implementación del laboratorio virtual PhET como estrategia didáctica para la enseñanza de la temática electricidad en el nivel de bachillerato técnico resultó más efectiva que la estrategia tradicional de instrucción utilizando demostraciones con equipos reales de laboratorio. Todos los estudiantes del grupo experimental que utilizaron PhET lograron dominar los aprendizajes sobre circuitos eléctricos de corriente continua, a diferencia del grupo de control donde solo dos estudiantes alcanzaron este nivel de dominio.
- La principal ventaja del laboratorio virtual PhET radicó en su capacidad de representar visualmente conceptos abstractos como el movimiento de electrones a través de animaciones, permitiendo a los estudiantes comprender fenómenos que no son observables en la realidad física. Esta característica facilitó la adquisición de conocimientos complejos y el desarrollo de habilidades para realizar predicciones sobre aplicaciones prácticas relacionadas con la electricidad.
- Los resultados obtenidos respaldan la incorporación de recursos tecnológicos innovadores como los laboratorios virtuales en los procesos de enseñanza de ciencias, especialmente en instituciones educativas que carecen de infraestructura y equipamiento adecuado para la realización de prácticas convencionales de laboratorio. En estos contextos, los laboratorios virtuales se presentan como una alternativa viable y efectiva para suplir las carencias existentes.
- No obstante, se concluye que los laboratorios virtuales no deben reemplazar por completo a los laboratorios físicos tradicionales, sino que deben complementarlos. La combinación de ambos enfoques brinda a los estudiantes la oportunidad de contrastar distintas representaciones de un mismo fenómeno, fortalecer sus

capacidades investigativas y adquirir una comprensión más integral y profunda de los conceptos científicos abordados.

- Finalmente, la presente investigación aporta evidencia empírica sobre la efectividad del uso de laboratorios virtuales interactivos como PhET en la mejora de los procesos de enseñanza-aprendizaje de temáticas complejas como la electricidad en el nivel de bachillerato técnico, contribuyendo así al campo de la educación en ciencias y al desarrollo de estrategias didácticas innovadoras.

## 6. Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## 7. Declaración de contribución de los autores

Todos los autores contribuyeron significativamente en la elaboración del artículo.

## 8. Costos de financiamiento

La presente investigación fue financiada en su totalidad con fondos propios de los autores

## 9. Referencias Bibliográficas

Aldrich, C. (2005). *Learning by doing: a comprehensive guide to simulations, computer games, and pedagogy in e-learning and other educational experiences*.

<http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA76504854>

Campos Mera, G. & 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>

ChemCollective. (2024). *Resources to Teach and Learn Chemistry*.  
<https://chemcollective.org/>

De Jong, T., Linn, M. C., & 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>

Falode, O. C., & 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.  
[file:///C:/Users/tcarr/Downloads/CHEMISTRY\\_24\\_4\\_572-583.pdf](file:///C:/Users/tcarr/Downloads/CHEMISTRY_24_4_572-583.pdf)

Famani, S. T. M., Ayub, M. R. S. S. N., & 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., & 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://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1170931.pdf>

Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., Kohl, P. B., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., & LeMaster, R. (2005). When learning about the real world is better done virtually: a study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical Review Special Topics: Physics Education Research*, 1, 1-8.

<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.1.010103>

Go-Lab. (2023, junio). *Go-Lab Initiative*. <https://premium.golabz.eu/about/go-lab-initiative>

Gunawan, G., Harjono, A., Sahidu, H., Herayanti, L., Suranti, N. M. Y., & Yahya, F. (2019). Using virtual laboratory to improve pre-service physics teachers' creativity and problem-solving skills on thermodynamics concept. *Journal of Physics Conference Series*, 1280(5), 052038. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1280/5/052038>

Hurtado Fernández, S. (2024). *Laboratorio Virtual / Recurso educativo 111959 - Tiching*.

<http://mx.educaplay.tiching.com/laboratorio-virtual/recurso-educativo/111959>

Husnaini, S. J., & 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>

Kapici, H.O., Akcay, H., & 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>

Kirkpatrick, D. L. (2007). Evaluación de acciones formativas: Los cuatro niveles. Grupo Planeta (GBS).

[https://books.google.com.ec/books/about/Evaluaci%C3%B3n\\_de\\_acciones\\_formativas.html?hl=es&id=RAXvhH0-oGEC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Evaluaci%C3%B3n_de_acciones_formativas.html?hl=es&id=RAXvhH0-oGEC&redir_esc=y)

- Mendoza García, P., (2021) *El simulador de física Algodoo como herramienta de simulación, visualización y experimentación* [Trabajo maestría, Universidad de La Rioja, España].  
[file:///C:/Users/tcarr/Downloads/ElSimuladorDeFisicaAlgodooComoHerramientaDeSimulac\\_2a9a.pdf](file:///C:/Users/tcarr/Downloads/ElSimuladorDeFisicaAlgodooComoHerramientaDeSimulac_2a9a.pdf)
- Ojo, O. M., & 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.  
<http://dx.doi.org/10.19044/ejes.v7no3a8>
- Peñas Cano, Jesús. (2014, 15 noviembre). EducaPlus - Recursos educativos digitales.  
<https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoescuela/recursosdigitales/2014/11/15/educaplus/#:~:text=Educaplus%20es%20un%20sitio%20creado,Tierra%2C%20Educaci%C3%B3n%20Art%C3%ADstica%20y%20Tecnolog%C3%ADa>
- PhET Interactive Simulations. (2024). *Simulaciones interactivas de ciencias y matemáticas*. PhET. <https://phet.colorado.edu/es/>
- Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., Wieman, C., & LeMaster, R. (2005). PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics. *The Physics Teacher*, 44(1), 18-23. <https://doi.org/10.1119/1.2150754>
- Pontes Pedrajas, A. (2021). *Evaluación de conocimientos previos de estudiantes universitarios sobre electrocinética e implicaciones para la enseñanza y el aprendizaje de modelos científicos* [IN-RED 2020: VI Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red. Editorial Universitat Politècnica de València. 505-515]. <https://doi.org/10.4995/INRED2020.2020.11948>
- Pontes Pedrajas, A. (2022). Uso didáctico de un laboratorio virtual para favorecer la progresión de los modelos mentales de los estudiantes sobre circuitos de corriente eléctrica. *Bordón Revista de Pedagogía*, 74(4), 145-160.  
<https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.93290>
- Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M., & Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education*, 95, 309-327.  
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>
- Quinn, J. G., King, K., Roberts, D., Carey, L., & Mousley, A. (2009). Computer based learning packages have a role, but care needs to be given as to when they are delivered. *Bioscience Education*, 14(1), 1-11. <https://doi.org/10.3108/beej.14.5>

- Reese, Mary Celeste. (2013). *Comparison of student achievement among two science laboratory types: traditional and virtual* [Tesis de doctorado, Mississippi State University. Theses and Dissertations. 1119].  
<https://scholarsjunction.msstate.edu/td/1119>
- Rodríguez-Abril, P. L., Rodríguez-Hernández, A. A., & Avella-Forero, F. (2021). Evaluación de simuladores como estrategia para el aprendizaje de la electricidad en la asignatura de física en la educación media. *Revista Boletín Redipe*, 10(8), 219-237. <https://doi.org/10.36260/rbr.v10i8.1401>
- Rodríguez-García, N. J., Nieto-Sánchez, I. C., & Mora-Alfonso, J. N. (2021). Laboratorios virtuales y remotos en electrónica y telecomunicaciones: una revisión técnica en educación. *Visión Electrónica*, 15(2), 181-189.  
<https://doi.org/10.14483/22484728.17345>
- Sharifov, G. M. O. (2020). The effectiveness of using a virtual laboratory in the teaching of electromagnetism in the lyceum. *Physics Education*, 55(6), 065011.  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6552/aba7f5/meta>
- Shegog, R., Lazarus, M. M., Murray, N. G., Diamond, P. M., Sessions, N., & Zsigmond, E. (2011). Virtual transgenics: using a molecular biology simulation to impact student academic achievement and attitudes. *Research In Science Education*, 42(5), 875-890. <https://doi.org/10.1007/s11165-011-9216-7>
- Sypsas, A. & Kalles, D. (2018) Virtual laboratories in biology, biotechnology, and chemistry education: a literature review [Proceedings of the 22<sup>nd</sup> Pan-Hellenic Conference on Informatics 18-November 29-December 2018, Athens, Greece, pp. 70-75]. <https://doi.org/10.1145/3291533.3291560>
- Syahfitri, F. D., Manurung, B., & Sudibyo, M. (2019). The development of problem based virtual laboratory media to improve science process skills of students in biology. *International Journal of Research*, 6(6), 64-74.  
[https://www.ijrrjournal.com/IJRR\\_Vol.6\\_Issue.6\\_June2019/IJRR0012.pdf](https://www.ijrrjournal.com/IJRR_Vol.6_Issue.6_June2019/IJRR0012.pdf)
- Taramopoulos, A., & Psillos, D. (2017). Complex phenomena understanding in electricity through dynamically linked concrete and abstract representations. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33(2), 151-163.  
<https://doi.org/10.1111/jcal.12174>
- Taramopoulos, A., & Psillos, D. (2019). Promoting representational fluency through dynamically linked concrete and abstract representations in electric circuits. *Journal of Science Education and Technology*, 28(6), 638–650.  
<https://doi.org/10.1007/s10956-019-09793-9>

Zacharia, Z. C. & 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>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.



Indexaciones

