

# Desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de Ingeniería mediante una estrategia didáctica que integra laboratorios remotos sobre circuitos eléctricos: primera intervención

Development of critical thinking in engineering students through a didactic strategy that integrates remote laboratories on electrical circuits: first intervention

Marcos Guerrero Zambrano <sup>1</sup> y Sonia Beatriz Concari <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad Estatal de Milagro, Ciudadela Universitaria “Dr. Rómulo Minchala Murillo” –km. 1.5 vía Milagro– Virgen de Fátima; Milagro, Guayas, Ecuador.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional del Rosario; Av. Pellegrini 250, Rosario.

E-mail: [mguerreroz@unemi.edu.ec](mailto:mguerreroz@unemi.edu.ec)

Recibido el 29 de julio de 2023 | Aceptado el 31 de agosto de 2023

## Resumen

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de una estrategia didáctica que integra prácticas con laboratorio remoto en el tema de circuitos eléctricos para promover el desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de ingeniería de una universidad estatal del Ecuador. Se trata de una investigación basada en diseño que combina metodologías tanto cuantitativa como cualitativa dividida en dos intervenciones; aquí se presenta la primera intervención en la que participó un docente y 60 sujetos que oscilan entre los 18 y 20 años de edad. El diseño de la estrategia didáctica incluyó lecturas, preguntas abiertas y cerradas y realización de prácticas experimentales con laboratorio remoto. Se aplicaron pruebas para determinar los niveles de desarrollo del pensamiento crítico y el nivel de logro de aprendizaje de los sujetos de estudio: al inicio, previo al diseño y a la aplicación de la estrategia, como evaluación diagnóstica y, al final, después de aplicada la estrategia didáctica. Comparando los resultados de ambas pruebas al inicio y al final de la aplicación de la estrategia didáctica, se obtuvo que 33 sujetos aumentaron en al menos 1 punto su nivel de pensamiento crítico, resultado validado con la prueba de Wilcoxon y 38 sujetos aumentaron en al menos 1 punto su nivel de logro de aprendizaje, resultado validado a través de la ganancia de Hake, lo que corresponde al 61 % y 63 % respectivamente del total de la muestra. Como resultado de la aplicación de la estrategia didáctica, de los 60 sujetos de la muestra, 23 (38 %) mejoraron significativamente tanto el desarrollo de pensamiento crítico como el aprendizaje.

**Palabras clave:** Laboratorio remoto; Circuitos eléctricos; Aprendizaje; Estrategia didáctica; Pensamiento crítico.

## Abstract

The objective of this research is to evaluate the effect of a didactic strategy that integrates remote laboratory practices on the subject of electrical circuits to promote the development of critical thinking in engineering students from a state university in Ecuador. It is design-based research that combines both quantitative and qualitative methodologies divided into two interventions; here we present

the first intervention in which a teacher and 60 subjects between 18 and 20 years of age participated. The design of the didactic strategy included readings, open and closed questions and carrying out experimental practices with a remote laboratory. Two tests were applied to determine the levels of development of critical thinking and the level of learning achievement of the studied subjects: at the beginning, prior to the design and application of the strategy, as a diagnostic evaluation and at the end, after applying the didactic strategy. Comparing the results of both tests at the beginning and at the end of the application of the didactic strategy, it was found that 33 subjects increased their level of critical thinking by at least 1 point, a result validated with the Wilcoxon test, and 38 subjects increased their level of learning achievement by at least 1 point, a result validated through the Hake gain, which corresponds to 61 % and 63 % respectively of the total sample. As a result of the application of the didactic strategy, of the 60 subjects in the sample, 23 (38 %) significantly improved both the development of critical thinking and learning.

Keywords: Remote laboratory; Electrical circuits; Learning; Didactic strategy; Critical thinking.

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo del pensamiento crítico es un tema de interés educativo que ha sido objeto de investigación en las últimas dos décadas. Existen autores que han realizado diversas investigaciones sobre el desarrollo del pensamiento crítico; Tamayo (2014) estudió cómo estudiantes de la enseñanza primaria desarrollaban la capacidad de resolución de problemas, la metacognición y la argumentación, a partir de una propuesta didáctica diseñada para la enseñanza de las ciencias, que incluía actividades experimentales. Este autor informó que, en el caso de metacognición y la argumentación, los resultados no fueron favorables en todas las subcategorías y niveles respectivamente, pero que, en la resolución de problemas se obtuvieron los niveles de logro más altos. Finalmente, en el caso de los docentes, Tamayo indicó que no tenían claro el concepto de pensamiento crítico. También se han propuesto estrategias didácticas para desarrollar el pensamiento crítico de estudiantes que ingresan a carreras de ciencias e ingeniería en un tema de introducción a la física, empleando la Matriz de Pensamiento Crítico en la que se valoraron ocho aspectos del Pensamiento Crítico. Los resultados de García-Sandoval *et al.* (2013) mostraron mejorías en las características conductuales y habilidades correspondientes. Por su parte, Aznar y Laiton (2017) evaluaron la eficacia de una propuesta pedagógica para medir las habilidades del pensamiento crítico en estudiantes universitarios de la asignatura Física, aplicando la prueba PENCRIASAL al inicio y al final del proceso didáctico; lo que obtuvieron fue un desarrollo deficiente de las habilidades, evidenciado en una media menor al 30 % del valor máximo posible en la prueba. Hay autores que aplicaron la técnica de entrevista a un docente y dos estudiantes de la carrera de licenciatura en Física, en un curso de electromagnetismo, al que se les aplicó una estrategia de enseñanza integradora basada en la práctica de habilidades de pensamiento crítico y superior. El estudio de caso arrojó resultados alentadores en tanto los dos estudiantes alcanzaron a desarrollar las habilidades del pensamiento crítico y superior (Girelli *et al.*, 2010). Otro estudio se centró en desarrollar una intervención pedagógica basada en la resolución de problemas considerando las habilidades y criterios del pensamiento crítico, en el tema de mecánica en estudiantes de un instituto tecnológico; para ello se aplicó una prueba antes y después de la intervención didáctica y al comparar los resultados se obtuvo un aumento del 70 % en el nivel del desarrollo del pensamiento crítico (Laiton Poveda, 2011). Otros autores utilizaron la validación de un conjunto de actividades para la clase de Física y la prueba de Cornell (nivel X) para medir el nivel de pensamiento crítico; los resultados muestran que el nivel de pensamiento crítico predice el 18,6 % de la variabilidad en el rendimiento de los alumnos en Física (Rodrigues y Oliveira, 2008). En otros estudios se han aplicado temas mal planteados de composición abierta a los estudiantes de secundaria y universitarios y, a partir de ellos, fueron explorados los procesos de pensamiento crítico a través de la reflexión sobre sus respuestas; también se incluyeron a los docentes, evaluándolos con una prueba de cuestionario cerrado sobre los problemas mal planteados; los resultados demuestran que los problemas mal planteados no lograron promover un adecuado nivel de desarrollo de pensamiento crítico (Erceg *et al.*, 2013). Para finalizar esta sección, cabe señalar que hay autores que han diseñado pruebas específicas y validadas para medir la adquisición de habilidades del pensamiento crítico relacionadas con el estudio de temas como electricidad y magnetismo, obteniendo resultados que arrojaron niveles aceptables de desarrollo del pensamiento crítico (Tiruneh *et al.*, 2017).

De los estudios mencionados queda claro que promover el desarrollo del pensamiento crítico es posible a través de un trabajo progresivo de diseño de estrategias adecuadas y su aplicación, junto con la evaluación pre y post.

En efecto, el trabajo docente dirigido a promover aprendizajes y a desarrollar habilidades y competencias en los estudiantes se apoya en estrategias didácticas diseñadas intencionalmente para el logro de estos objetivos. Hay autores que han centrado su investigación en estrategias didácticas usando laboratorios remotos, simulaciones y laboratorios reales para la enseñanza de mecánica, electromagnetismo y óptica con estudiantes de tres universidades de Argentina, logrando favorecer la observación, la elaboración de conjeturas, la especulación teórica, el registro organizado de información, la interpretación de distintos fenómenos y la aplicación de conocimientos a situaciones nuevas, es decir, promover el desarrollo de habilidades cognitivas y fomentar la capacidad de análisis crítico (Giacosa *et al.*,

2012). A partir de pruebas diagnósticas, Londoño (2014) diseñó unidades didácticas basadas en experimentaciones sencillas sobre conceptos básicos de electricidad, promoviendo mayor participación de los estudiantes en el aprendizaje activo y colaborativo en una Institución Educativa de Colombia. Otros autores han explorado las posibilidades didácticas de laboratorios remotos de dispositivos electrónicos con estudiantes de ingeniería (Lerro *et al.*, 2009).

En este compendio de estudios relativos a acciones didácticas para la enseñanza de temas de electromagnetismo, las distintas estrategias didácticas responden a objetivos didácticos determinados, principalmente al aprendizaje de conceptos y relaciones disciplinares y al desarrollo de habilidades y competencias.

Dado que la educación en las ciencias y la formación en ingeniería requieren de la experimentación práctica, el laboratorio se constituye como un espacio pertinente para realizar actividades de aprendizaje —tanto guiado como autónomo— que ayuden a los estudiantes a promover desarrollos cognitivos relevantes. Hoy pueden distinguirse el experimento en laboratorio real, conocido también como laboratorio tradicional o *hands on*, realizado en el espacio físico que la institución educativa haya asignado a estas actividades, el laboratorio virtual, que permite simular un experimento a través de un programa computacional y el laboratorio remoto, que consiste en un experimento real pero operado a distancia a través de Internet.

Existen diversos laboratorios remotos disponibles para la enseñanza de Física e Ingeniería, como VISIR, WebLab-Deusto, RemLabNet, e-Laboratory Project, entre otros (Arguedas, 2017). Estos laboratorios remotos permiten realizar prácticas a distancia mediante la realización de experimentos operados en línea. Algunos autores se han enfocado en el desarrollo y evaluación de prácticas de laboratorio remoto, mientras que otros han revisado la literatura existente sobre el tema y las prácticas más relevantes (Matarrita y Concari, 2000). A pesar del avance tecnológico y el desarrollo de numerosos laboratorios remotos, hay pocos estudios que evalúen su efecto en los procesos de aprendizaje (Arguedas, 2017; Farina *et al.*, 2018; Lerro *et al.*, 2007; Matarrita *et al.*, 2016) y, en especial, en el desarrollo del pensamiento crítico. En cambio, hay algunos estudios dedicados a observar el desarrollo del nivel de pensamiento crítico y habilidades del pensamiento usando laboratorios virtuales (Irwanto y Ramadhan, 2018; Muhammed *et al.*, 2022).

Paralelamente, desde una perspectiva del contexto en el que se plantea este estudio, se destaca la problemática de la falta de recursos económicos para la implementación de laboratorios en algunas universidades estatales y la influencia de la pandemia del covid-19 en el sistema educativo (Universidad Estatal de Ecuador, zona 5). Otras dificultades son la heterogeneidad en la formación previa de los estudiantes y la ausencia de estrategias didácticas para fomentar el pensamiento crítico en carreras universitarias, necesario para la formación de un Ingeniero.

De acuerdo con lo expuesto, surgen las siguientes preguntas: ¿Qué estrategias didácticas son las más adecuadas para promover el desarrollo del pensamiento crítico? ¿Qué actividades de aprendizaje pueden favorecer el desarrollo del pensamiento crítico? ¿Cómo puede promoverse el desarrollo del pensamiento crítico a través de la experimentación remota?

El propósito de esta investigación es diseñar, aplicar y evaluar una estrategia didáctica usando un laboratorio remoto de Física en la unidad de circuitos eléctricos para promover el desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de las diferentes carreras de Ingeniería de una Universidad Estatal del Ecuador. En el presente trabajo se informa sobre una primera etapa de un trabajo más extenso, realizado en el marco de una tesis de posgrado.

## II. MARCO TEORICO

### A. Pensamiento crítico

El pensamiento crítico es ampliamente considerado como un tipo de pensamiento de orden superior o complejo. Se define como la capacidad de tomar decisiones meditadas a través de una observación objetiva y formular juicios razonados basados en información confiable. Diversos autores han ofrecido definiciones que resaltan su naturaleza reflexiva y orientada a resolver problemas.

Ennis (1962) lo describe como un pensamiento razonado y reflexivo que busca decidir en qué creer y qué hacer, utilizando la información de manera lógica y racional. Saiz y Rivas (2008) destacan que el pensamiento crítico implica habilidades de razonamiento, solución de problemas y toma de decisiones para alcanzar los resultados deseados de manera efectiva. Creamer (2011) lo concibe como un pensamiento intelectualmente disciplinado que involucra la conceptualización, aplicación, análisis, síntesis y evaluación de información, incluyendo un valor racional a las creencias y emociones. Por otro lado, Arons (1997) menciona que el pensamiento crítico se refiere a procesos de razonamiento lógico abstracto que solo pueden desarrollarse en la práctica.

En general, todos los autores concuerdan en que para desarrollar el pensamiento crítico se deben mejorar habilidades como el análisis, la comunicación, la creatividad y la solución de problemas. También es esencial tener la mente abierta, ser reflexivo y capaz de pensar de manera independiente.

En síntesis, el pensamiento crítico es un proceso reflexivo y disciplinado que requiere práctica y desarrollo de diversas habilidades cognitivas.

## B. Experimentación remota

El contexto de aislamiento durante la pandemia de los años 2020 y 2021 exigió considerar formas de experimentación no presenciales. Los experimentos *hands on* debieron ser reemplazados por las ya muy conocidas simulaciones y con la experimentación a través de Internet, a través del empleo de laboratorios remotos.

Los laboratorios remotos son herramientas tecnológicas que consisten en un software y hardware que permiten a los estudiantes acceder a prácticas de un experimento de ciencias tradicional, de forma remota, generalmente a través de Internet o de una red académica de alta velocidad (Chen *et al.*, 2010; Zamora Musa, 2012).

La University of Deusto (2013) define a los laboratorios remotos como una herramienta pedagógica en la que los estudiantes controlan remotamente procesos o equipos a través de una red. Bajo este esquema, los estudiantes usan y controlan los recursos disponibles en el laboratorio interactuando con equipos reales, usando sensores e instrumentos de medición, en lugar de usar programas que simulan los procesos a ser observados y estudiados.

El uso de los laboratorios remotos en la enseñanza de la física y de la ingeniería se inició hace ya casi tres décadas (Arguedas y Concari, 2016; Gravier *et al.*, 2008). En la actualidad, los laboratorios remotos constituyen un recurso importante para la comunidad educativa, debido a su aplicación en las ciencias experimentales en modalidades tanto presenciales como a distancia y también híbridas. Diversos autores han realizado investigaciones bibliográficas sobre el uso y las ventajas de los laboratorios remotos y virtuales en los campos de ciencias, ingenierías y tecnologías, como la reducción de costos e implementación comparada con un laboratorio presencial, además de llegar a estudiantes de lugares alejados de los centros educativos (Herrera Muñoz *et al.*, 2020). Una ventaja de usar los laboratorios remotos es que los mismos cuentan con esquemas de seguridad que impiden el daño de los equipos y no presentan ningún riesgo para los usuarios (Vargas, Cuero y Torres, 2020). Esta ventaja es muy importante porque permite al estudiante equivocarse al manipular equipos e instrumentos para responder preguntas.

Respecto de la pertinencia de los laboratorios remotos en la enseñanza de la física, Farina *et al.*, (2017) emplearon el laboratorio remoto VISIR para la enseñanza de temas de circuitos eléctricos con estudiantes de ingeniería, dando cuenta de las fases epistemológica y cognitiva de la idoneidad didáctica de este recurso, e informando que el uso del VISIR permitió a los estudiantes, entre otras cosas, modelizar y armar circuitos sencillos de corriente continua y comprender la relación entre corriente continua, tensión y resistencia eléctrica, así como describir los fenómenos que observaban en términos de ajustes entre práctica y teoría.

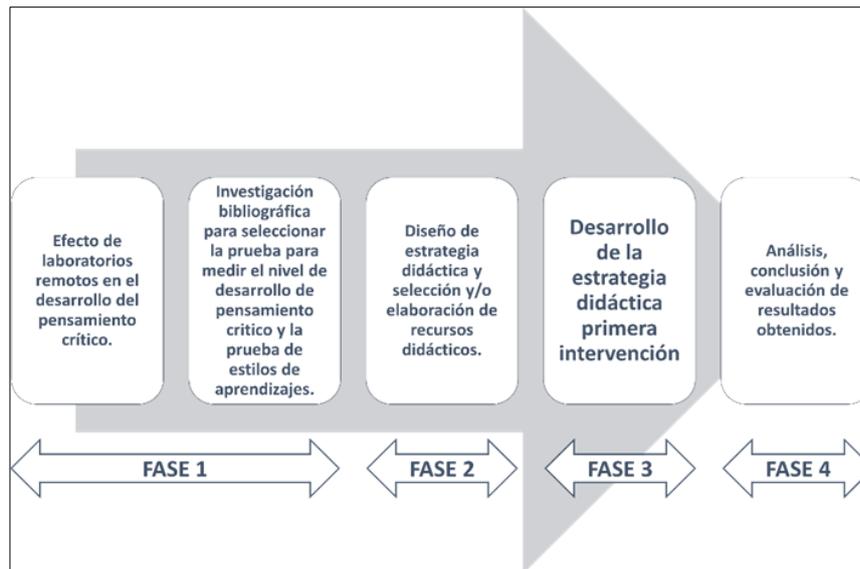
## III. METODOLOGÍA

Esta investigación se realizó empleando el modelo de Investigación Basada en Diseño (IBD), que permite abordar problemas en el ámbito educativo a través de estudios de diseño, desarrollo y evaluación de procesos de enseñanza y aprendizaje. La IBD facilita la innovación educativa y la introducción de elementos en procesos educativos tradicionales para lograr transformaciones en los mismos. Investigadores como Plomp *et al.* (2010) consideran que este paradigma emergente ayuda a explicar cómo funcionan las innovaciones educativas y cuándo y por qué tienen éxito. En la metodología de IBD, los investigadores estudian los problemas de aprendizaje de los estudiantes en sus contextos naturales, con el objetivo de realizar cambios que mejoren los resultados de aprendizaje. Hirigoyen (2011) destaca que la metodología de IBD debe considerar además del propósito, las características y las fases.

Las características que distinguen a los estudios de diseño son: la elección de la investigación en el lugar en el que se da el fenómeno, la fiabilidad de realizar cambios en el lugar que se investiga, la elección de enfoques sistemáticos, es decir, estudios en los que se entiende a las variables como transaccionales e interdependientes y, por último, las intervenciones en los diseños que tienen carácter cíclico e iterativo (Hirigoyen, 2011).

La investigación basada en diseño combina la investigación cualitativa y cuantitativa a través de cuatro fases: el análisis de la situación, el diseño de las soluciones, la aplicación de productos y procedimientos, y por último la evaluación de los resultados (de Benito Crosetti y Salinas Ibáñez, 2016).

En la figura 1 se representan las cuatro fases seguidas en esta investigación.



**FIGURA 1.** Metodología IBD seguida en el presente trabajo (Elaborado por Marcos Guerrero).

En la fase 1 se realizó una revisión bibliográfica sobre el problema del desarrollo del pensamiento crítico por efecto de la realización de actividades de aprendizaje empleando laboratorios remotos, a la luz de las preguntas que dieron origen a la investigación. Por ello, se indagó sobre estrategias para el desarrollo del pensamiento crítico, sobre disponibilidad de pruebas para evaluarlo, el espectro de recursos disponibles para la experimentación remota, diversas actividades de aprendizaje de la asignatura para el tema de circuitos eléctricos y actividades de aprendizaje con laboratorios remotos.

En la fase 2 se diseñó la solución; esto es: se seleccionaron las pruebas para la medición de nivel de desarrollo del pensamiento crítico, se adoptó el laboratorio remoto con el que se harían las actividades experimentales, se diseñó la estrategia didáctica para la enseñanza del tema circuitos eléctricos, incluyendo las actividades de aprendizaje, y se construyeron pruebas para evaluar el conocimiento de los estudiantes sobre ese tema.

La fase 3 incluyó la aplicación de los procedimientos diseñados: aplicación de la estrategia didáctica desarrollada, evaluación de conocimientos de conceptos y relaciones de Física en el tema circuitos eléctricos (antes y después de aplicada la estrategia didáctica), y medición del pensamiento crítico (antes y después de aplicada la estrategia didáctica).

Durante la fase 4 se evaluaron los resultados obtenidos en las mediciones realizadas.

### A. Contexto y muestra bajo estudio

Para esta primera intervención se trabajó con un docente y 60 de los 120 estudiantes que cursaban Física en el primer semestre del 2021, que manifestaron su acuerdo en participar en esta investigación. La asignatura de Física es del primer semestre del primer año, común a las carreras de Ingeniería Industrial, Ingeniería en Alimentos e Ingeniería de Software de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Estatal de Milagro, ubicada en el cantón Milagro en la provincia del Guayas, en el litoral del Ecuador.

Esos estudiantes son los sujetos objeto de estudio de esta investigación. La edad de estos osciló entre los 18 y 20 años. Todos son estudiantes de primer año de carreras de Ingeniería, provenientes de diferentes regiones del Ecuador.

La asignatura Física se desarrolla durante 5 horas reloj semanales. La asignatura está compuesta de 4 unidades y una de ellas es la de Electricidad, que abarca 4 semanas, es decir 20 horas, de las cuales 10 horas están relacionadas a los temas de Ley de Ohm, Resistores en serie y en paralelo e Instrumentos de medición (voltímetro y amperímetro), que son los temas seleccionados en esta investigación.

### B. Evaluación del aprendizaje

Para evaluar el aprendizaje se construyeron cuestionarios con preguntas que los sujetos debían responder y justificar con argumentos válidos. La prueba consistió en 20 preguntas de opciones múltiples, cada una con 4 respuestas posibles y su respectiva justificación. Se asignó 1 punto por seleccionar la respuesta correcta y 2 puntos por la apropiada justificación. El puntaje total de la prueba fue de 60 puntos. El formato de presentación fue un formulario de

Google en donde las preguntas se presentaron una a una y en forma secuencial, sin posibilidad de retorno. En la figura 2 se muestra una página de la prueba empleada utilizando la herramienta Google.

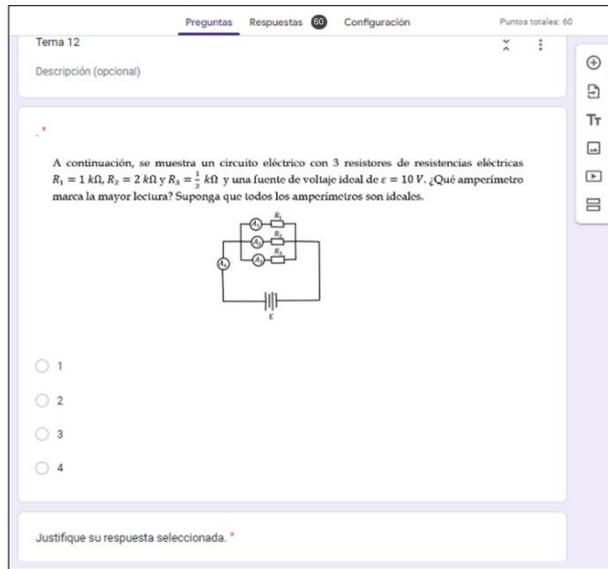
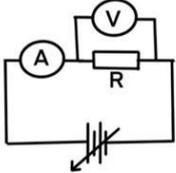
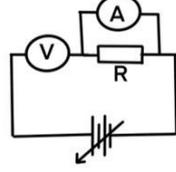
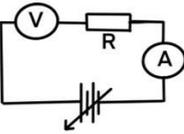
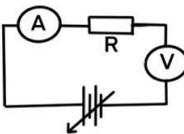
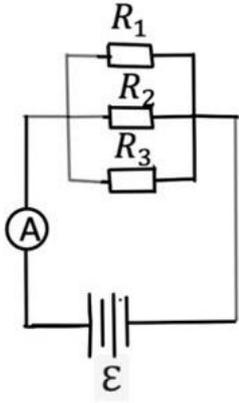
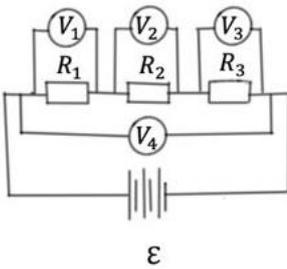


FIGURA 2. Una página de la prueba empleada para evaluar el aprendizaje utilizando la herramienta Google.

A modo de ejemplo, en la tabla I, se muestran algunas preguntas de la prueba.

TABLA I: Algunas preguntas de la prueba para medir el nivel de logro de aprendizaje. (Elaborado por Marcos Guerrero).

N.º	Pregunta
6	<p><b>A continuación, se dan las siguientes afirmaciones sobre resistores conectados en paralelo:</b></p> <p>I. Siempre circula por ellos la misma intensidad de corriente si sus resistencias eléctricas son iguales.</p> <p>II. Sus voltajes son diferentes si sus resistencias eléctricas son diferentes.</p> <p>III. Su resistencia eléctrica equivalente es de menor valor que sus resistencias eléctricas individuales.</p> <p><b>Son verdaderos:</b></p> <p>a. Sólo I y II.</p> <p>b. Sólo II y III.</p> <p>c. Sólo I y III.</p> <p>d. I, II y III.</p> <p><b>Justifique su respuesta seleccionada:</b></p>
8	<p><b>Seleccione, ¿en cuál de los siguientes circuitos eléctricos se conecta correctamente el voltímetro y el amperímetro, ambos ideales, para medir el voltaje y la corriente eléctrica respectivamente, en el resistor de resistencia eléctrica R.</b></p> <div style="text-align: center;">  <p>a.</p>  <p>b.</p> </div>

	<div style="text-align: center;">  <p>c.</p>  <p>d.</p> </div> <p><b>Justifique su respuesta seleccionada:</b></p>
<p>14</p>	<p>A continuación, se muestra un circuito eléctrico con 3 resistores de resistencias eléctricas <math>R_1 = 1k\Omega</math>, <math>R_2 = 2k\Omega</math> y <math>R_3 = \frac{1}{2}k\Omega</math> y una fuente de voltaje ideal de <math>\varepsilon = 10V</math>. Si el resistor 3 se comporta como un circuito abierto ¿Cuál es la lectura que marcará el amperímetro ideal?</p> <p>a. 10mA b. 5mA c. 15mA d. 20mA</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p><b>Justifique su respuesta seleccionada:</b></p>
<p>19</p>	<p>Si <math>V_1</math>, <math>V_2</math>, <math>V_3</math> y <math>V_4</math> son las lecturas de voltajes, para el gráfico mostrado, determine la ecuación matemática que relación estas lecturas.</p> <p>a. <math>V_4 = V_1 \cdot V_2 \cdot V_3</math></p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>b. <math>V_4 = V_1 + V_2 + V_3</math> c. <math>V_4 = V_1 \cdot V_2 + V_1 \cdot V_3 + V_2 \cdot V_3</math> d. <math>V_4 = V_1 - V_2 - V_3</math></p> <p><b>Justifique su respuesta seleccionada:</b></p>

### C. Evaluación del pensamiento crítico

Evaluar el pensamiento crítico es una tarea compleja que requiere de instrumentos de medición cuantitativos y cualitativos. Varios autores han utilizado cuestionarios de respuesta cerrada para grupos grandes y respuestas abiertas para grupos pequeños. Actualmente, existen dos tipos de pruebas: aquellas con preguntas de selección de respuesta múltiple (cerradas) y las preguntas de desarrollo con respuestas abiertas o ensayos. Las pruebas con respuestas cerradas son estadísticamente sólidas en términos de validez y confiabilidad, pero su limitación radica en que evalúan

solo aspectos predefinidos del pensamiento crítico y son difíciles de repetir. Por otro lado, las pruebas de desarrollo con respuestas abiertas son más adaptables a necesidades específicas y fáciles de repetir, pero su validez de constructo y confiabilidad es limitada. Cabe agregar que existen propuestas de evaluación híbridas, que combinan ambos tipos de preguntas para medir el desarrollo del pensamiento crítico, y se han diseñado rúbricas como instrumentos de medición para este propósito.

Después de investigar diversas pruebas validadas para medir el desarrollo del pensamiento crítico, se optó por utilizar el instrumento de evaluación de Watson Glaser que tiene una validez con coeficiente  $\alpha = 0.74$ . con un intervalo de confianza del 95 % de 0,689–0,791 y además ha sido aplicada a estudiantes de diferentes facultades (El-Hasan y Madhum, 2007).

Esta elección se basó en tres razones: la prueba incluye dimensiones enfocadas en evaluar las habilidades y capacidades requeridas en el pensamiento crítico, ha sido validada y aplicada a una diversidad de sujetos universitarios y, finalmente, el instrumento está accesible para su empleo, siendo una de las pocas pruebas de uso libre disponibles en la web que se adapta a los requisitos de la investigación realizada.

El instrumento de evaluación consta de 86 preguntas, cada una con un puntaje de 1 punto. Evalúa varios aspectos del pensamiento crítico, incluyendo la argumentación, los supuestos, la interpretación, la inferencia y la deducción. En detalle, contiene 25 preguntas sobre argumentación, 14 sobre supuestos, 14 sobre interpretación, 14 sobre inferencia y 21 sobre deducción (Watson Glaser, 2018).

La prueba fue aplicada al inicio y al final de la aplicación de la estrategia didáctica a fin de comparar los resultados obtenidos en cada aspecto y en el resultado global. De esta manera, se evaluó el logro de los participantes en el desarrollo de su pensamiento crítico, por efecto de la aplicación de la estrategia didáctica.

En la figura 3, se reproduce una página del formulario de Google con el que se administró la prueba de Watson Glaser para medir el desarrollo de pensamiento crítico.

FIGURA 3. Prueba de Watson Glaser para medir el desarrollo de pensamiento crítico utilizando el formulario de Google.

#### D. Experimentación remota

Al inicio de este trabajo, los laboratorios remotos para experimentos de física eléctrica y electrónica más difundidos eran el iLabs, desarrollado por el Massachusetts Institute of Technology, el laboratorio remoto para la enseñanza de mediciones electrónicas de la Università degli Studi del Sannio, el RexLab de la Universidade Federal de Santa Catarina con diversos experimentos, el eLab del Instituto Tecnológico de Monterrey, con experimentos de circuitos eléctricos básicos, y el OpenLabs Electronics Laboratory del Blekinge Institute of Technology de Suecia, cuyo desarrollo Virtual Instrument Systems in Reality (VISIR) ha sido adoptado por numerosas instituciones educativas universitarias con carreras científico tecnológicas de diversos países y modificado y mejorado por otras (Marchisio *et al.*, 2018; García-Zubia *et al.*, 2017; Hernández-Jayo *et al.*, 2018).

En este laboratorio, los estudiantes pueden diseñar sus circuitos eléctricos y electrónicos usando cables, elementos eléctricos y electrónicos e instrumentos de medición por medio de una interfase, para luego a través de la plataforma abierta de los laboratorios VISIR convertir el diseño en un circuito real y enviar los resultados al estudiante a través de la pantalla.

Como muestran Marchisio *et al.*, (2018), VISIR ha alcanzado una alta difusión a nivel mundial dado que posee una alta sensación de inmersión a través de pantallas con un diseño muy realista. Además, presenta gran versatilidad, pues para una misma configuración circuital, puede variarse algún componente cuyo valor resulte relevante y observar las variaciones en el circuito. Adicionalmente, la disponibilidad de 24 horas los siete días de la semana a la vez que puede admitir una gran cantidad de usuarios simultáneos. El laboratorio VISIR ha sido utilizado hace años en diversas universidades de todos los continentes y su empleo es relativamente simple, disponiéndose de un manual de usuario (Hernández y Zubía, 2017).

Si bien el VISIR, como otros laboratorios remotos antes mencionados, se usa mayoritariamente en cursos de física y de electrónica en carreras de ingeniería, también ha sido empleado con éxito con estudiantes secundarios en escuelas técnicas (Arguedas M. y Concari, 2018; Evangelista *et al.*, 2017).

A partir del análisis de los posibles laboratorios remotos, las características antes descritas del laboratorio remoto VISIR, creado específicamente para realizar mediciones con circuitos eléctricos y electrónicos, y su acceso con interfaces en idioma español, condujeron a adoptarlo para la presente investigación.

Varias universidades cuentan con un laboratorio remoto VISIR en el mundo (Hernandez *et al.*, 2018). Además, a partir de una *start up* generada en la Universidad de Deusto (España), la empresa LabsLand, radicada en Estados Unidos, ofrece una plataforma que agrupa una serie de laboratorios remotos radicados en distintos sitios y los ofrece a entidades educativas de nivel medio y de nivel superior, las cuales pueden acceder a ellos a través de Internet. LabsLand ofrece servicios —a costos accesibles— de prácticas de laboratorios remotos en áreas de Física, Química, Biología, Electrónica, Ingeniería, Robótica y Tecnología. LabsLand (<https://labsland.com/es>) está liderado por investigadores de la Universidad de Deusto y es un colaborador en el desarrollo y mejora de nuevas prestaciones del software de VISIR. También esta empresa ha estado a cargo de varias implementaciones llevadas a cabo en diversas instituciones: Universidad de Georgia (EE. UU.), Technical University Dortmund (Alemania) y Universidad Estatal a Distancia (Costa Rica). Adicionalmente LabsLand permite integrar el acceso a sus laboratorios remotos en plataformas como Canvas, Moodle, Sakai, Google Classroom, entre otras.

A través de contactos personales con los investigadores de la Universidad de Deusto, se obtuvo de LabsLand la habilitación para el uso libre y gratuito del VISIR durante dos años a los fines de esta investigación. Para el acceso de los estudiantes, se empleó la plataforma Moodle de la Universidad Estatal de Milagro (Ecuador), donde fue realizado el presente estudio. En las figuras 4 y 5 se muestran las referidas páginas de acceso.



FIGURA 4. Izquierda: Página de acceso a LabsLand (<https://labsland.com/es>). Derecha: Acceso al laboratorio remoto VISIR

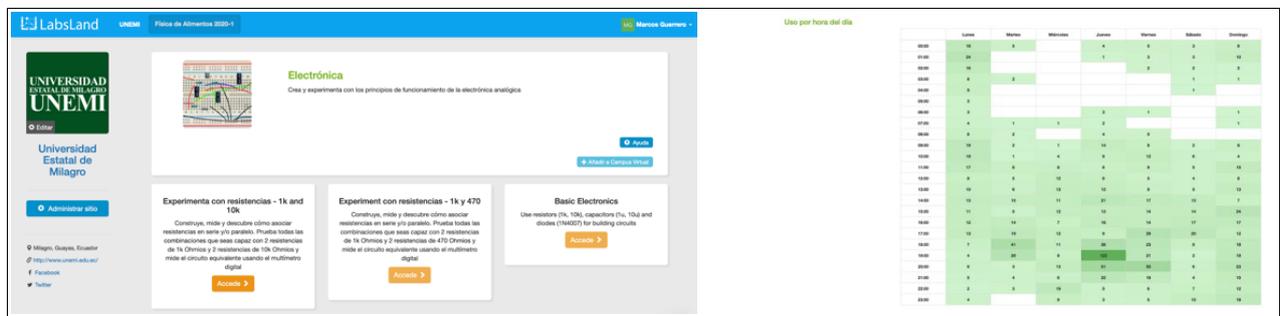


FIGURA 5. Izquierda: Página de acceso a los experimentos remotos de LabsLand a través de la plataforma Moodle de la Universidad Estatal de Milagro. Derecha: Registro de día y hora de acceso de los estudiantes a lo largo de una semana, provisto por el sistema.

## E. Estrategia didáctica

Las estrategias didácticas son todas las acciones y actividades programadas por el docente para que sus estudiantes aprendan. Comprende las estrategias de enseñanza, que incluyen los procedimientos usados por los docentes para conseguir que los estudiantes aprendan, y las estrategias de aprendizaje, que son las acciones y actividades junto con los procedimientos mentales empleados por los sujetos que aprenden para procesar la información y aprender (Dorante, 2015).

Durante la aplicación de la estrategia, se buscó desarrollar habilidades de pensamiento crítico que permitieran a los estudiantes adquirir conocimientos en forma sistematizada y aplicarlos en diferentes contextos. Se planteó para ello las siguientes actividades de aprendizaje individual: lectura de texto guía y respuestas a preguntas basadas en los nuevos contenidos a aprender; además realización de las prácticas de laboratorio remoto y respuestas a las preguntas incluidas en la guía de las prácticas de laboratorio y, finalmente, respuestas a preguntas abiertas y cerradas durante el desarrollo de los nuevos contenidos. Es importante mencionar que los recursos didácticos se diseñaron teniendo en cuenta todos los estilos de aprendizaje (Kolb, 1981). Por ejemplo, se utilizaron varias gráficas ilustrativas (preferidas por un estilo acomodador), lectura de texto (adecuadas a un estilo asimilador), actividades experimentales (estilo divergente) y demostraciones prácticas (estilo convergente). En el caso de la prueba de logros de aprendizaje se diseñó en base a los objetivos de aprendizaje y a los diferentes estilos de aprendizaje mencionados.

La estrategia didáctica se diseñó para ser aplicada en un entorno no presencial, en el contexto de aislamiento establecido por la pandemia. Los contenidos disciplinares de temas de circuitos eléctricos: Ley de Ohm, combinación de resistores en serie y en paralelo y uso del voltímetro y amperímetro fueron desarrollados en dos modalidades: una parte empleando clases sincrónicas utilizando la plataforma Zoom y otra parte con actividades autónomas, es decir, actividades que los estudiantes debían realizar en sus hogares.

Al inicio el docente explico el desarrollo de la estrategia didáctica; las actividades a realizar y sus puntuaciones; los tiempos asignados a cada actividad durante las dos semanas de trabajo; luego aplicó a cada sujeto la prueba para medir el nivel de desarrollo de pensamiento crítico con una duración de una hora y luego se aplicó la prueba para medir los logros de aprendizaje, con el mismo tiempo de ejecución. Ambas pruebas fueron administradas a través de la plataforma Zoom, mientras los estudiantes estaban conectados y monitoreados por el docente. Posteriormente, por 1 hora el docente desarrolló contenidos en una clase expositiva sincrónica para realizar una clase de revisión de los conceptos previos sobre intensidad de corriente eléctrica, diferencia de potencial, voltaje y resistencia eléctrica con ayuda de la herramienta Quizziz, dentro de la presentación se incluyó figuras y animaciones referentes a los temas mencionados, tal como se muestra en la figura 6.

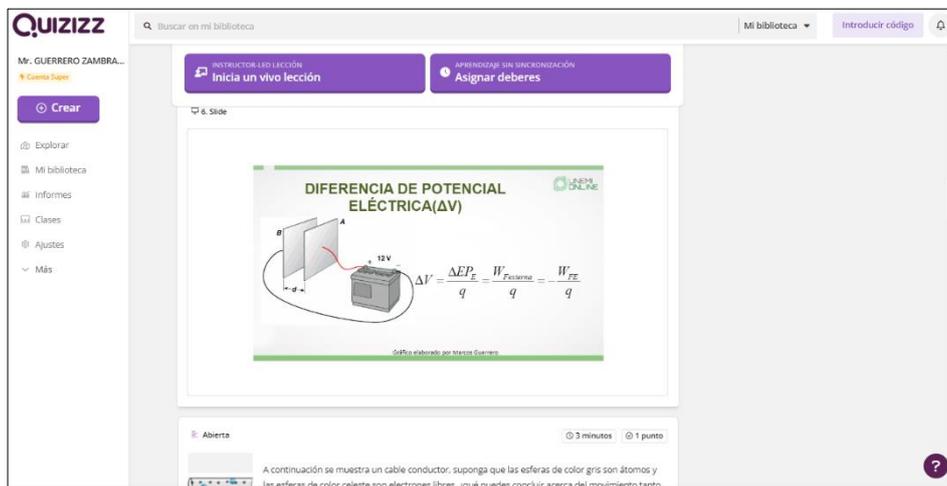


FIGURA 6. Pantalla de la herramienta Quizziz empleada para desarrollar la clase de revisión de conceptos previos.

Posteriormente, los estudiantes realizaron una lectura del libro guía, en este caso se consideró el texto de Física Universitaria con Física Moderna, Volumen 2 de los autores Sears, Zemansky, Young y Freedman, capítulos 25 y 26; a continuación, cada sujeto respondió la guía de preguntas cerradas que sirvieron de direccionamiento para el aprendizaje de contenidos específicos.

A continuación, se transcriben a modo de ejemplo, algunas preguntas de la guía referidas a la Ley de Ohm:

- Describa ¿en qué consiste el experimento de la Ley de Ohm?
- Mencione el enunciado de la Ley de Ohm.

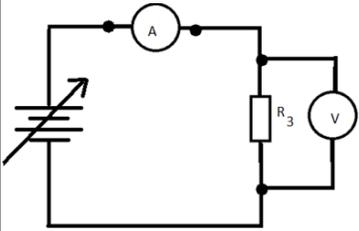
- Explique ¿cuál es la diferencia (con ejemplos) entre un conductor óhmico y un conductor no óhmico?
- Indique ¿cuál es el significado de la pendiente de una gráfica corriente eléctrica en función del voltaje?
- Explique ¿por qué aumenta la temperatura en el interior de una lámpara de filamento?

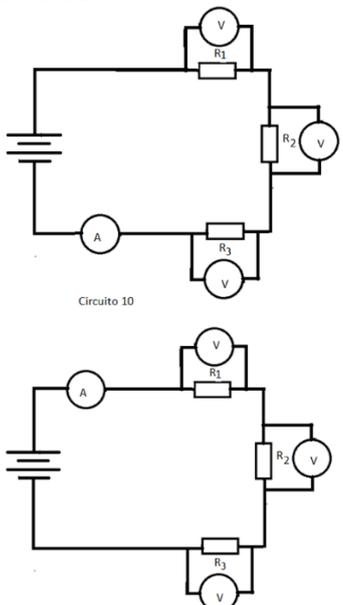
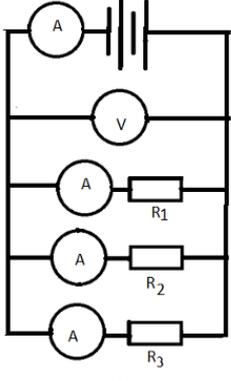
Después que los estudiantes respondieran las preguntas, el docente analizó las respuestas para identificar los temas que tuvieron mayores dificultades. Basado en ello, se facilitaron los nuevos contenidos de los temas Ley de Ohm, combinación de resistores en serie y en paralelo y uso del voltímetro y amperímetro con ayuda de la herramienta Quizziz haciendo énfasis a los temas que presentaron dificultades de aprendizaje en la guía de preguntas. Además, respondieron individualmente preguntas abiertas y cerradas, lo que estimuló la construcción de nuevos conocimientos.

Seguidamente, el docente ingresó a la plataforma Moodle y al laboratorio remoto de LabsLand y proporcionó una explicación sobre las componentes y los equipos del laboratorio remoto.

Luego los estudiantes ingresaron a su vez a la plataforma Moodle y al laboratorio remoto y comenzaron a desarrollar las prácticas de laboratorio remoto de los temas propuestos. Los estudiantes realizaron tres prácticas de laboratorio, cada una con una duración de mínima de dos horas; una relacionada al tema de Ley de Ohm, otra referida a combinación de resistores en serie y en paralelo y otra práctica sobre el uso del voltímetro y del amperímetro. Cada práctica de laboratorio incluyó preguntas de respuestas cortas y largas, con las que se pretendió provocar la argumentación, la formulación de supuestos, la interpretación, la inferencia y la deducción, a fin de promover el desarrollo del pensamiento crítico. En la tabla II se presentan, a modo de ejemplo, algunas preguntas que se diseñaron para la práctica de laboratorio remoto relacionadas al tema de circuitos eléctricos.

**TABLA II.** Algunas preguntas de la prueba para medir el nivel de desarrollo de pensamiento crítico. (Elaborada por Marcos Guerrero).

N.º Práctica	N.º Pregunta	Pregunta	Tipo de pregunta	Explicación
2	2	<p>Seleccionar 9 voltajes diferentes de la fuente; por cada valor asignado se deberá medir con el voltímetro y el amperímetro, el voltaje y la corriente eléctrica respectivamente del resistor R3, tal como se muestra en el circuito eléctrico 7. Luego, construya la gráfica de la corriente eléctrica en función del voltaje, usando Excel, trace la curva de mejor ajuste e indique el valor del coeficiente de correlación y su ecuación, para luego explicar el comportamiento de esta gráfica y compararlo con la ley de Ohm.</p>  <p style="text-align: center;">Circuito 7</p>	Inferencia, deducción e interpretación	<p>La pregunta en cuestión involucra varias habilidades cognitivas. A continuación, se desglosa cada parte de la pregunta y se identifica la habilidad cognitiva correspondiente:</p> <p>"Trace la curva de mejor ajuste e indique el valor del coeficiente de correlación y su ecuación": Esta parte de la pregunta implica el uso de habilidades de inferencia y deducción. Se debe utilizar la información proporcionada para trazar una curva de mejor ajuste en la gráfica y calcular el coeficiente de correlación.</p> <p>"Para explicar el comportamiento de esta gráfica": Esta parte de la pregunta implica la habilidad de interpretación, ya que se debe analizar el comportamiento de la gráfica obtenida y explicar su significado en relación con los valores de voltaje y corriente.</p>

N.º Práctica	N.º Pregunta	Pregunta	Tipo de pregunta	Explicación
3	2	<p>Comparar los valores medidos de los voltajes de los circuitos eléctricos 9 y 10 y explicar, si hubiere, el porqué de su diferencia.</p>  <p>Circuito 10</p> <p>Circuito 9</p>	Interpretación y Evaluación de argumentos	<p>La pregunta planteada implica un proceso de Interpretación y Evaluación de argumentos. Se solicita comparar los valores medidos de voltaje en dos circuitos eléctricos iguales, pero con amperímetros colocados antes y después de la fuente y voltímetros en la misma posición. Para responder a la pregunta, se requiere interpretar los valores medidos por los voltímetros y evaluar los argumentos relacionados con los voltajes de ambos circuitos.</p>
3	10	<p>Ahora suponga que el resistor R2 del circuito eléctrico 11 se ha dañado y se comporta como un circuito abierto; comparar los valores obtenidos de la corriente eléctrica y los voltajes de los resistores obtenidos del amperímetro y los voltímetros respectivamente y explicar la diferencia de las lecturas cuando el resistor R2 estaba en circuito abierto y cuando funcionaba correctamente.</p>  <p>Circuito 11</p>	Reconocimiento de supuestos e Inferencia	<p>La pregunta puede ser clasificada como Reconocimiento de supuestos e Inferencia. Se parte de la suposición de que uno de los resistores se comporta como un circuito abierto y se pide comparar los valores obtenidos en la corriente eléctrica y los voltajes de los resistores, y explicar la diferencia con relación a cuando el resistor estaba funcionando correctamente. A partir de la información dada, se realiza una inferencia lógica sobre los posibles efectos que tendría el circuito abierto en los valores medidos.</p>

Luego de realizadas las tres prácticas de laboratorio con Visir, se retroalimentó la experiencia con todos los sujetos; después de ello se aplicó nuevamente la prueba con la que se evaluó el logro de aprendizaje; finalmente, se empleó la prueba para medir el nivel de desarrollo del pensamiento crítico.

A modo de síntesis, en la figura 7 se resume del proceso seguido en la primera intervención de este estudio.

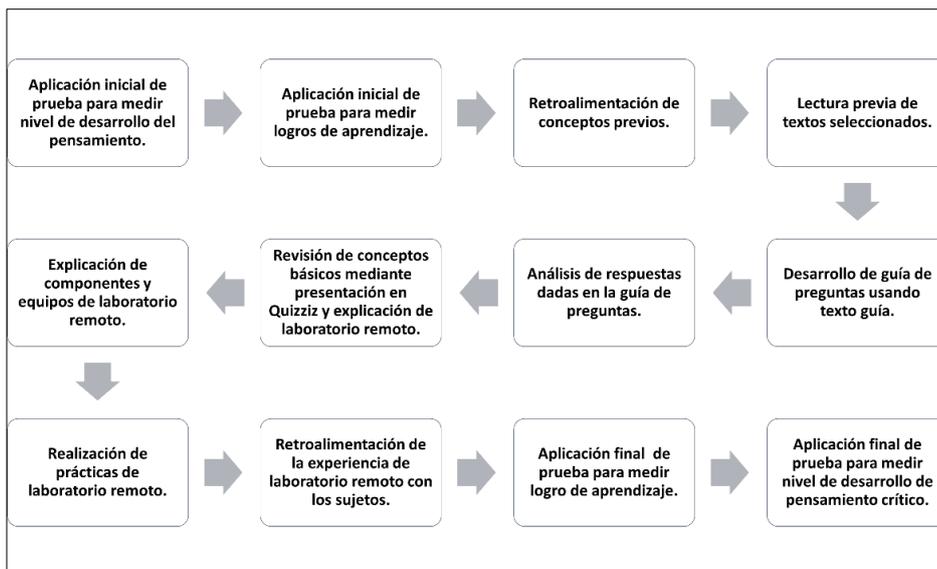


FIGURA 7. Estrategia didáctica aplicada durante la primera intervención. (Elaborada por Marcos Guerrero).

#### IV. RESULTADOS

##### A. Logro de aprendizaje

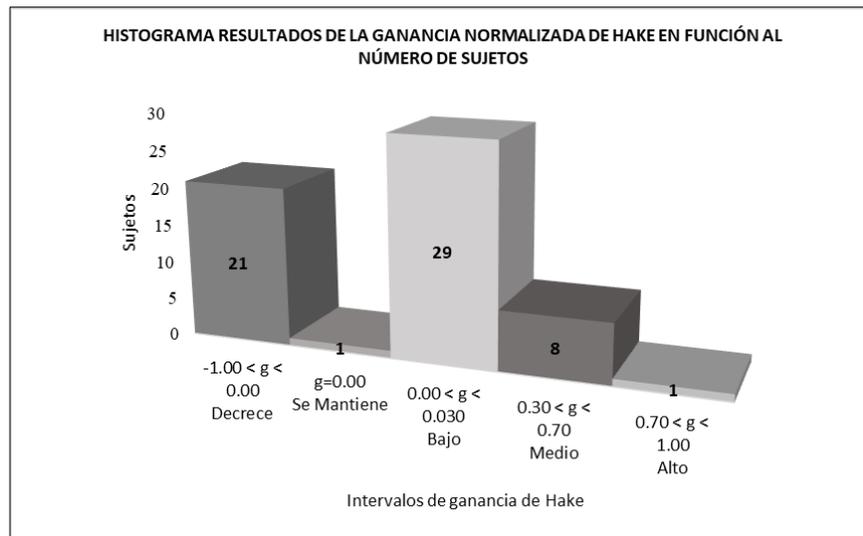
La prueba consistió en 20 preguntas cada una con 4 respuestas posibles y la respectiva justificación de la selección de la respuesta. Cada pregunta tuvo una puntuación de 1 punto por seleccionar la respuesta correcta y 2 puntos por justificar la respuesta correcta seleccionada, lo que da un valor máximo total de 60 puntos. En los casos de los sujetos 3, 13, 19, 20, 24, 28, 33, 34, 37, 38, 39, 40, 44, 47 y 60 (el 22 %, en negritas en la tabla III) aumentaron en al menos 10 puntos los puntajes de las pruebas de logro de aprendizaje.

De los 60 sujetos, 38 lograron aumentar su nivel de conocimientos que corresponde al 63 %, esto muestra un panorama alentador en relación con el aprendizaje de los conceptos relacionados a circuitos eléctricos y la eficacia de la estrategia didáctica empleada, sin embargo, 22 sujetos (37 %) no lograron cambiar el nivel de logro de aprendizaje (tabla III).

TABLA III. Porcentajes de variación de la prueba de nivel de desarrollo de pensamiento crítico y prueba de para medir logros de aprendizaje en la primera intervención. (Elaborada por Marcos Guerrero).

# y % de sujetos que incrementaron aprendizajes según Prueba de logro de aprendizaje (PLA)	38 sujetos	63 %
Sujetos que aumentaron en PLA	2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 12, <b>13</b> , 14, 15, 16, <b>19</b> , <b>20</b> , 21, 22, <b>24</b> , 25, 26, 27, <b>28</b> , 29, 30, 31, 32, <b>33</b> , <b>34</b> , 35, <b>37</b> , <b>38</b> , <b>39</b> , <b>40</b> , 41, <b>44</b> , <b>47</b> , <b>48</b> , <b>60</b>	
# y % de sujetos que no cambiaron en PLA	22 sujetos	37 %
Sujetos que no cambiaron en PLA	1, 7, 9, 17, 18, 23, 36, 42, 43, 45, 46, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59	

En la figura 8 se muestran los resultados de la prueba de entrada y de salida para medir el logro de aprendizaje utilizando la Ganancia de Hake (g) y representados en un histograma donde se han agrupado los resultados en intervalos. Se puede observar que, para 38 de 60 sujetos (63 %) que aumentaron el logro de aprendizaje, la ganancia de Hake es  $g \geq 0$ , sin embargo de acuerdo con Hake (1998), la ganancia se establece en tres rangos: baja ( $0 < g \leq 0,3$ ), media ( $0,3 < g \leq 0,7$ ), y alta ( $g > 0,7$ ), por lo que se puede considerar que 29 sujetos obtuvieron una ganancia baja, 8 sujetos tuvieron una ganancia media y 1 sujeto obtuvo una ganancia alta.



**FIGURA 8:** Resultados de logro de aprendizaje. Histograma de la ganancia normalizada de Hake en función del número de sujetos. (Elaborado por Marcos Guerrero).

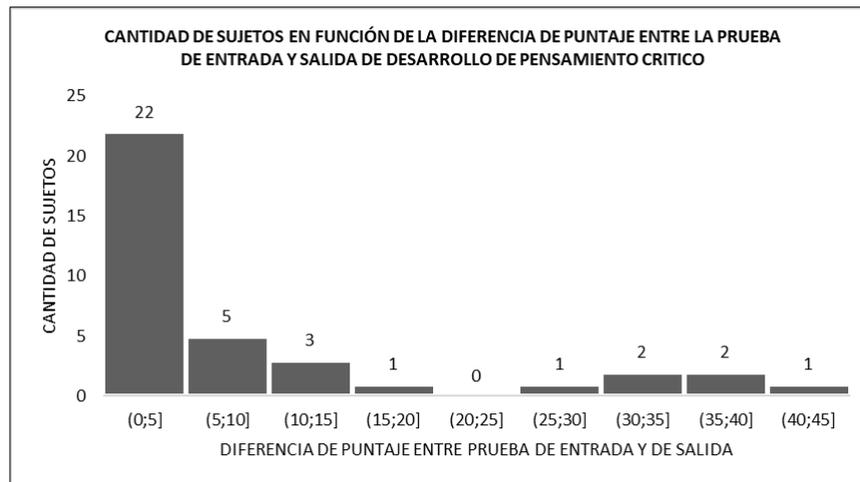
### B. Nivel de desarrollo del pensamiento crítico

Como se muestra en la tabla IV, de los 60 sujetos que trabajaron durante el proceso didáctico, al comparar el puntaje entre la prueba de entrada y la prueba de salida, se observó que 37 sujetos, que corresponde al 61 % de los participantes, aumentaron el nivel de desarrollo del pensamiento crítico en al menos un punto mientras que en el 39 % restante no se modificó. Como la prueba consistió en 86 preguntas, cada una con una puntuación de 1 punto, se comparó el puntaje de la prueba de entrada y de la prueba de salida. En los casos de los sujetos 35, 36, 37, 40, 55 y 57 (el 10 % de los sujetos, en negritas en la tabla IV) aumentaron el nivel de desarrollo de pensamiento crítico en al menos 26 puntos.

**TABLA IV.** Porcentajes de variación de la prueba de nivel de desarrollo de pensamiento crítico y prueba de para medir logros de aprendizaje en la primera intervención. (Elaborada por Marcos Guerrero).

# y % de sujetos que aumentaron el nivel de desarrollo de pensamiento crítico según Prueba de desarrollo de pensamiento crítico (PDPC)	37 sujetos	61 %
Sujetos que aumentaron PDPC	1, 4, 8, 9, 10, 12, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 33, 34, <b>35, 36, 37</b> , 39, <b>40</b> , 41, 44, 46, 48, <b>50</b> , 51, 52, 53, 55, <b>57</b> , 59	
# y % de sujetos que no cambiaron en PDPC	23 sujetos	39 %
Sujetos que no aumentaron en PDPC	2, 3, 4, 6, 7, 11, 13, 14, 16, 21, 24, 27, 32, 38, 42, 43, 45, 47, 49, 54, 56, 58, 60	

En la figura 9 se tiene un gráfico de histograma de frecuencias de la cantidad de sujetos en función de la diferencia de puntaje entre la prueba de entrada y de salida de desarrollo de pensamiento crítico en intervalos de 5 puntos, en donde se comprueba que 6 sujetos aumentaron más de 25 puntos y los restantes 31 sujetos aumentaron en 1 punto el nivel de desarrollo de pensamiento crítico. Observando las tablas III y IV, los sujetos 4, 8, 10, 12, 15, 19, 20, 22, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 37, 39, 40, 41, 44, 48 aumentaron tanto el nivel de desarrollo del pensamiento crítico como el nivel de logro de aprendizaje. Este grupo son 23 de 60 sujetos, es decir, que constituye el 38 % de la muestra bajo estudio.



**FIGURA 9:** Histograma de frecuencias de la cantidad de sujetos en función de la diferencia de puntaje entre la prueba de entrada y de salida de desarrollo de pensamiento crítico. (Elaborada por Marcos Guerrero).

Para validar los resultados se utilizó la herramienta estadística prueba del Wilcoxon. Para ello se empleó el programa estadístico Minitab. A continuación, en la tabla V se muestran los resultados de esta prueba aplicada a los 37 sujetos que obtuvieron al menos 1 punto de diferencia entre la prueba antes y después de aplicada la estrategia didáctica (Triola, 2018).

**TABLA V.** Resultados de la prueba de Wilcoxon a los resultados de la prueba de desarrollo de pensamiento crítico.

Variables	Prueba	N	Media	Desviación Estándar	Test de Wilcoxon	
					Diferencia de medianas	p - sig
Total de prueba	Entrada	60	43,317	7,489	-2,5	0,005
	Salida	60	48,133	13,413		
Argumentación	Entrada	60	14,917	2,638	0,0	0,589
	Salida	60	14,983	3,744		
Supuestos	Entrada	60	6,2667	1,676	-0,5	0,022
	Salida	60	7,200	2,881		
Deducción	Entrada	60	11,400	2,688	-1,5	0,003
	Salida	60	13,150	3,918		
Inferencia	Entrada	60	4,333	2,129	-1,0	0,029
	Salida	60	5,317	2,931		
Interpretación	Entrada	60	6,400	1,993	-1,0	0,001
	Salida	60	7,493	2,303		

Se planteó la hipótesis nula  $H_0$  (existe un cambio significativo en los resultados entre ambas pruebas) e hipótesis alterna  $H_1$  (no existe un cambio significativo en los resultados entre ambas pruebas), para realizar el análisis de los valores de significancia  $p$ . Considerando un nivel de significancia estándar de  $p = 0,05$ , el valor de significancia de la tabla VI de los resultados entre ambas pruebas es menor que ese valor para el total de la prueba, por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna; por lo tanto, se concluye que el incremento en el nivel de desarrollo de pensamiento crítico ha sido significativo en los 37 sujetos. Adicionalmente las habilidades de Supuestos, Deducción, Inferencia e Interpretación tienen cambios significativos, ya que sus valores de significancia están por debajo del nivel de significancia estándar de  $p = 0,05$ .

Con respecto a la argumentación, la diferencia entre las medias es apenas 0,066, con una desviación estándar mucho mayor, con lo que se asume que no es significativo ese incremento, tal como lo muestra el valor de significancia  $p = 0,589 > 0,05$ .

## V. SÍNTESIS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los 60 sujetos de la muestra, 38 lograron aumentar su nivel de conocimientos que corresponde al 63 %, así lo demuestra también la ganancia de Hake, esto muestra un panorama alentador en relación con el aprendizaje de circuitos eléctricos y la eficacia de la metodología empleada. Sin embargo, 22 sujetos (37 %) no construyeron nuevos

conocimientos. Este resultado poco alentador podría estar vinculado al hecho que, al ser las clases en línea, muchos de los estudiantes no activaban las cámaras ni respondían a las preguntas que se planteaban en la clase.

El objetivo principal de este trabajo fue promover el desarrollo del pensamiento crítico. Durante la primera intervención, 37 sujetos (61 % del total de la muestra) aumentaron en al menos 1 punto el nivel de desarrollo del pensamiento crítico, lo que fue validado como significativo a través de la prueba de Wilcoxon. Además, se concluye que las habilidades que más se desarrollaron en esos estudiantes fueron la de formulación de Supuestos, la de Deducción, la de realización de Inferencia y la de Interpretación.

No obstante, el 39 % de los sujetos no mostró cambios en el desarrollo del pensamiento crítico. Como fue mencionado, las actividades propuestas en la estrategia didáctica diseñada fueron parcialmente completadas en el contexto de aislamiento. Se evidenció en esos estudiantes escaso interés, poca motivación y falta de compromiso en el proceso de aprendizaje.

De los 60 sujetos de la muestra, 23 sujetos (38 %) mejoraron significativamente tanto el desarrollo de pensamiento crítico como el nivel de conocimientos.

Vistos los resultados obtenidos, se consideró rediseñar la estrategia didáctica teniendo en cuenta lo siguiente:

- Disponer del tiempo necesario para aplicar la estrategia didáctica acorde a las habilidades y destrezas que tienen los estudiantes.
- Formular más preguntas del tipo argumentación, deducción, inferencia, interpretación y formulación de supuestos en las prácticas de laboratorio, ya que aquí es donde más se puede estimular el desarrollo del pensamiento crítico.
- Realizar una evaluación formativa sin considerar una puntuación en cada actividad desarrollada por los estudiantes, a fin de mantener a los sujetos motivados en el proceso de aprendizaje.
- Motivar a los estudiantes mediante un contrato pedagógico para mantenerlos motivados y trabajando correctamente los pasos de la estrategia didáctica, por ejemplo, puntuación adicional en la evaluación sumativa de fin de unidad.

El rediseño de la estrategia didáctica realizado conforme a las consideraciones precedentes, así como su aplicación, correspondió a una segunda intervención, que no forma parte de este trabajo.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a LabsLand por el uso libre del laboratorio remoto VISIR para la realización de las actividades experimentales durante el lapso de ejecución de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

Arguedas, C. (2017). *Diseño y desarrollo de un Laboratorio Remoto para la enseñanza de la física en la UNED de Costa Rica Mg*. Universidad Nacional del Litoral. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/1018>

Arguedas, C., y Concari, S. B. (2016). Laboratorios remotos para la enseñanza de la física: Características tecnológicas y pedagógicas. *Revista de Enseñanza de la Física*, 28, 235-243.

Arguedas M., C. A., y Concari, S. B. (2018). Características deseables en un Laboratorio Remoto para la enseñanza de la física: Indagando a los especialistas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 35(3), 702-720.

Arons, A. B. (1997). *Teaching Introductory Physics* (Wiley). John Wiley y Sons, Inc. [https://www.researchgate.net/publication/243413908\\_Teaching\\_Introductory\\_Physics\\_Arnold\\_B\\_Arons](https://www.researchgate.net/publication/243413908_Teaching_Introductory_Physics_Arnold_B_Arons)

Aznar, I., y Laiton, I. (2017). Desarrollo de Habilidades Básicas de Pensamiento Crítico en el contexto de la enseñanza de la física universitaria. *10(1)*, 71-78.

Chen, X., Song, G., y Zhang, Y. (2010). *Virtual and Remote Laboratory Development: A Review*. [https://doi.org/10.1061/41096\(366\)368](https://doi.org/10.1061/41096(366)368)

Creamer, M. (2013). *“¿Qué es y por qué pensamiento crítico?”* (Ministerio de Educación). Ministerio de Educación. <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/03/SiProfe-Didactica-del-pensamiento-critico.pdf>

de Benito Crosetti, B., y Salinas Ibáñez, J. M. (2016). La Investigación Basada en Diseño en Tecnología Educativa. *RiITE Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*, 1(0), 44-59. <https://doi.org/10.6018/riite2016/260631>

Dorante, A. (2015). *Diseño de una guía sobre estrategias didácticas para fortalecer la enseñanza y aprendizaje de la física* [UNIVERSIDAD DE CARABOBO]. <http://riuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/123456789/3130/1/adorante.pdf>

El-Hasan, K., y Madhum, G. (2007). Validating the Watson Glaser Critical Thinking Appraisal. *Higher Education*, 54(3), 361-383. <https://doi.org/10.1007/s10734-006-9002-z>

Ennis, R. H. (1962). *A concept of critical thinking*. 32(1), 81-111.

Erceg, N., Aviani, I., y Mešić, V. (2013). Probing students' critical thinking processes by presenting ill-Defined physics problems. *Revista Mexicana de Física E*, 59(1), 65-76.

Evangelista, I., Farina, J. A., Pozzo, M. I., Dobboletta, E., Alves, G. R., García-Zubía, J., Hernández, U., Marchisio, S. T., Concari, S. B., y Gustavsson, I. (2017). Science education at high school: A VISIR remote lab implementation. *2017 4th Experiment@International Conference (exp.at'17)*, 13-17. <https://doi.org/10.1109/EXPAT.2017.7984378>

Farina, J. A., Bianchini, A., y Ramini, G. (2018). *Laboratorio remoto y simulaciones-ingeniería*. (Vol. 12). [https://cadi.org.ar/wp-content/uploads/2018/09/4\\_CADI\\_y\\_10\\_CAEDI\\_paper\\_92.pdf](https://cadi.org.ar/wp-content/uploads/2018/09/4_CADI_y_10_CAEDI_paper_92.pdf)

Farina, J. A., Evangelista, I., Pozzo, M. I., Dobboletta, E., Garcia, J., Alves, G. R., y Hernández, U. (2017). *Análisis de la idoneidad de una intervención didáctica para la enseñanza de la ley de Ohm, en el nivel universitario básico: Uso de laboratorio remoto*.

García-Sandoval, A., Lara-Barragán Gómez, A., y Cerpa-Cortés, G. (2013). Enseñanza de la física y desarrollo del pensamiento crítico: Un estudio cualitativo. *Revista de Educación y Desarrollo*, 1(24), 67-76.

Giacosa, N., Giorgi, S., y Concari, S. (2012). Estrategias didácticas para la enseñanza y el aprendizaje de física universitaria: Algunos ejemplos de integración. *Itinerarios educativos*, 8, 11-25. <https://doi.org/10.14409/ie.v0i8.6053>

Girelli, M., Dima, G., Reynoso Savio, M. F., y Baumann, L. (2010). Habilidades de pensamiento crítico y superior desarrolladas por un grupo de alumnos de carreras de Física universitaria. Resultados de entrevistas realizadas a sus docentes. *Latin-American Journal of Physics Education*, 4(1), 194-199.

Gravier, C., Fayolle, J., Bayard, B., Ates, M., y Lardon, J. (2008). State of the Art About Remote Laboratories Paradigms—Foundations of Ongoing Mutations. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (IJOE)*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v4i1.480>

Hake, R. (1998). *Interactive-Engagement Versus Traditional Methods: A Six-Thousand-Student Survey of Mechanics Test Data for Introductory Physics Courses*. 66(1), 64-74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>

Hernandez, U., Garcia-Zubia, J., Colombo, A., Marchisio, S., Concari, S., Lerro, F., Pozzo, M., DOBBOLETTA, E., y Alves, G. (2018). Spreading the VISIR Remote Lab Along Argentina. The Experience in Patagonia. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 290-297. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-64352-6\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-319-64352-6_27)

Hernández, U., y Zubía, J. G. (2017). *Laboratorio remoto panel eléctrico de corriente continua*. LabsLand. [https://labsland.com/pub/docs/experiments/VISIR/labsland\\_visir\\_Ohm\\_Kirchhoff\\_demo\\_es.pdf](https://labsland.com/pub/docs/experiments/VISIR/labsland_visir_Ohm_Kirchhoff_demo_es.pdf)

Herrera Muñoz, D. C., Triana Ortiz, K. N., y Mesa Mendoza, W. N. (2020). *Importancia de los laboratorios remotos y virtuales en la educación superior*. 1(1). <https://doi.org/10.22490/ECBTI.3976>

Hirigoyen, M. A. (2011). *Investigación basada en diseños en el estudio de la evolución del interés en educación tecnológica con el uso de las Tics*. 1, 1-23. <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/cled/article/download/4856/4673>

Irwanto, I., y Ramadhan, M. F. (2018). Using virtual labs to enhance students' thinking abilities, skills, and scientific attitudes. *International Conference on Educational Research and Innovation (ICERI 2017)*, 494-499. <https://doi.org/10.31227/osf.io/vqnkz>

Kolb, D. (1981). *Learning Styles and Disciplinary Differences*. 18, 151-164.

Laiton Poveda, I. (2011). ¿Es posible desarrollar el pensamiento crítico a través de la resolución de problemas en física mecánica? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(1), 54-70.

Lerro, F., Marchisio, S., y Pamel, O. Von. (2007). *Posibilidades didácticas del "Laboratorio remoto de Física Electrónica" Resultados de una primera evaluación en uso con estudiantes Resumen Introducción Buscando razones didácticas a la incorporación del laboratorio remoto*. 10.

Lerro, F., Marchisio, S., y Von Pamel, O. (2009). *Exploring didactic possibilities of an electronic devices remote lab with students of Electronic Engineering*. 1-10. <https://labremf4a.fceia.unr.edu.ar/papers/pdf/ICBL2009.pdf>

Londoño L., F. (2014). *Propuesta didáctica para promover el aprendizaje de los conceptos básicos de la electricidad, fundamentada en las instalaciones eléctricas domiciliarias*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21913>

Marchisio, S. T., Crepaldo, D., Del Colle, F., Lerro, F., Concari, S. B., Leon, D., Merendino, C., Rumin, L., Ghorghor, J., Plano, M. A., Coscia, H., Hernandez-Jayo, U., Garcia-Zubia, J., y Alves, G. (2018). VISIR lab integration in Electronic Engineering: An institutional experience in Argentina. *2018 XIII Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAEE)*, 1-9. <https://doi.org/10.1109/TAEE.2018.8476079>

Matarrita, C. A., y Concari, S. B. (2000). *Hacia un estado del arte de los laboratorios remotos en la enseñanza de la física*. [https://www.researchgate.net/publication/284510729\\_Hacia\\_un\\_estado\\_del\\_arte\\_de\\_los\\_laboratorios\\_remos\\_en\\_la\\_ensenanza\\_de\\_la\\_fisica](https://www.researchgate.net/publication/284510729_Hacia_un_estado_del_arte_de_los_laboratorios_remos_en_la_ensenanza_de_la_fisica)

Matarrita, C. A., Elizondo, F. U., Villalobos, M. C., Rica, C., Pedro, S., Oca, D. M. D., y José, S. (2016). *Laboratorios remotos: Herramientas para fomentar el aprendizaje experimental de la Física en educación a distancia*. 10, 2-6.

Muhammed, N., Sulisty, S., y Muzazzinah. (2022). The Virtual Laboratory Based on Problem Based Learning to Improve Students' Critical Thinking Skills. *European Journal of Mathematics and Science Education*, 3(1), 35-47. <https://doi.org/10.12973/ejmse.3.1.35>

Plomp, T., Nieveen, N., Kelly, A. E., Bannan, B., y van den Akker, J. (2010). *An Introduction to Educational Design Research* (3ra ed.). Netzdruk, Ensched. [https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/14472302/Introduction\\_20to\\_20education\\_20design\\_20research.pdf](https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/14472302/Introduction_20to_20education_20design_20research.pdf)

Rodrigues, A., y Oliveira, M. (2008). The Role of Critical Thinking in Physics Learning. *CORE*, 1-8.

Saiz, C., y Rivas, S. (2008). *Evaluación en pensamiento crítico: Una propuesta para diferenciar formas de pensar*. 22-23, 25-66.

Tamayo, O. (2014). *Pensamiento crítico dominio- específico en la didáctica de las ciencias*. 36, 25-46.

Tiruneh, D. T., De Cock, M., Weldeslassie, A. G., Elen, J., y Janssen, R. (2017). Measuring Critical Thinking in Physics: Development and Validation of a Critical Thinking Test in Electricity and Magnetism. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(4), 663-682. <https://doi.org/10.1007/s10763-016-9723-0>

Triola, M. F. (2018). *ESTADÍSTICA* (13.ª ed., Vol. 12). <http://librodigital.sangregorio.edu.ec/librosusgp/B0038.pdf>

University of Deusto. (2013). *Remote laboratory: Definition* [Remote laboratory: Definition]. [web-lab.deusto.es/olarex/cd/UD/Incubator\\_EN\\_final/remote\\_laboratory\\_definition.html](https://web-lab.deusto.es/olarex/cd/UD/Incubator_EN_final/remote_laboratory_definition.html)

Vargas, J., Cuero, J., Torres, C., y Universidad de los Llanos, Colombia. (2020). Laboratorios Remotos e IOT una oportunidad para la formación en ciencias e ingeniería en tiempos del covid-19: Caso de Estudio en Ingeniería de Control. *Espacios*, 41(42), 188-198. <https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n42p16>

Watson Glaser. (2018). *Free Critical Thinking Test*. AssessmentDay. <https://www.assessmentday.co.uk/watson-glaser-critical-thinking.htm>

Zamora Musa, R. (2012). Laboratorios Remotos: Actualidad y Tendencias Futuras. *2012*, 17(51), 113-118.