



Simuladores interactivos en la enseñanza del efecto fotoeléctrico como introducción a física moderna

- Interactive simulators in teaching the photoelectric effect as an introduction to modern physics
- Simuladores interativos no ensino do efeito fotoelétrico como introdução à física moderna

Forma de citar este artículo

Castillo-Rodríguez, N. J., Galvis-Rodríguez, H. D. y Giraldo-Santamaría, D. S. (2026). Simuladores interactivos en la enseñanza del efecto fotoeléctrico como introducción a física moderna. *Tecné Episteme y Didaxis: TED*, (60), e22180, <https://doi.org/10.17227/ted.num60-22180>

Resumen

Se desarrolló una práctica educativa para orientar el proceso de enseñanza y aprendizaje del efecto fotoeléctrico en estudiantes de educación media del grado undécimo de una institución educativa colombiana, donde se estableció desde la teoría de aprendizaje significativo de Ausubel un proceso de formación en tres fases (inicial, media y final), que permitió adquirir en el grupo en general los aprendizajes propuestos. Se determinaron los saberes previos de cada estudiante mediante la aplicación de un formulario inicial; se continuó con la interacción de un simulador del concepto físico que asimiló las características más relevantes. Seguidamente se hizo una retención del conocimiento al solucionar unos problemas propuestos, donde se relacionaron datos numéricos con la concepción física. Finalmente, se estableció una ganancia de aprendizaje del grupo por medio del factor de Hake lo que determinó a su vez una ganancia de tipo alta y respaldó la metodología aplicada a un grupo de educación media para fortalecer el proceso de enseñanza y aprendizaje de un tópico de la física moderna.

Palabras clave

aprendizaje significativo; efecto fotoeléctrico; enseñanza de la física; simuladores interactivos

Nancy Janet Castillo-Rodríguez* 
Hamilton David Galvis-Rodríguez** 
Dayan Steban Giraldo-Santamaría*** 

* Magíster en Enseñanza de la Física, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

nancycastleillo@utp.edu.co

** Magíster en Enseñanza de la Física, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. Miembro del grupo de investigación Alfa Orión.

hdgalvis@utp.edu.co

*** Magíster en Enseñanza de la Física, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira Colombia. Colegio General José María Cabal, Santa Rosa de Cabal, Colombia. Miembro del grupo de investigación Modelado y Simulación Computacional (GIMOSIC).

dayangiraldo-1995@utp.edu.co

Artículo de investigación

Fecha de recepción: 26/09/2024

Fecha de

Fecha de publicación: 01/07/2026



Abstract

An educational practice was developed to guide the teaching and learning process of the photoelectric effect in high school students of the eleventh grade of a Colombian educational institution, where a training process in three phases (initial, middle and final) was defined under Ausubel's theory of meaningful learning, which allowed the group in general to acquire the proposed learning. The prior knowledge of each student was determined through the application of an initial form. We continued with the interaction of a physical concept simulator that assimilated the most relevant characteristics. Next, knowledge retention was carried out by solving some proposed problems, where numerical data was related to the physical conception. Finally, a group learning gain was established through the Hake factor, which in turn determined a high rate gain and support the methodology applied to a middle school group to strengthen the teaching and learning process on a topic of modern physics.

Keywords

meaningful learning; photoelectric effect; physics teaching; interactive simulators

Resumo

Desenvolveu-se uma prática educativa para orientar o processo de ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico em alunos do ensino médio do décimo primeiro ano de uma instituição de ensino colombiana, onde foi estabelecido um processo de formação em três fases (inicial, intermediária e final) sob a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, o que permitiu ao grupo em geral adquirir a aprendizagem proposta. Começou por estabelecer os saberes prévios de cada estudante mediante a aplicação de um formulário inicial, continuou-se com a interação de um simulador do conceito físico que assimilou as características mais relevantes. Em seguida, foi feita uma retenção do conhecimento ao solucionar alguns problemas propostos onde se relacionaram dados numéricos com a concepção física. Finalmente, estabeleceu-se um ganho de aprendizagem do grupo por meio do fator de Hake determinando por sua vez um ganho de tipo alta, apoiando a metodologia aplicada a um grupo de educação média para fortalecer o processo de ensino e aprendizagem em um tópico da física moderna.

Palavras-chave

aprendizagem significativa; efeito fotoelétrico; ensino de física; simuladores interativos

Introducción

La enseñanza de la física en la educación media constituye un desafío constante para los docentes, especialmente cuando se abordan temáticas pertenecientes a la física moderna, cuyo carácter abstracto y su distancia con las experiencias cotidianas de los estudiantes dificultan procesos de comprensión profunda. En el contexto colombiano, la mayoría de los currículos escolares continúan centrados en la mecánica clásica y en modelos educativos tradicionales, lo que limita el acercamiento temprano de los estudiantes a fenómenos contemporáneos de relevancia científica y tecnológica (Bruner, 1966). Entre estos fenómenos, el efecto fotoeléctrico ocupa un lugar fundamental debido a su papel histórico en el desarrollo de la mecánica cuántica y a su presencia en tecnologías actuales, como paneles solares, sensores ópticos, celdas fotoeléctricas, cámaras digitales y dispositivos de control automático (Escudero *et al.*, 2016).

Sin embargo, este fenómeno presenta dificultades persistentes en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Los estudiantes suelen mostrar debilidades para comprender la relación entre los fotones, la energía de la radiación electromagnética y la emisión de electrones en un material. Dichas dificultades se asocian tanto a la complejidad del modelo cuántico como a la ausencia de herramientas pedagógicas que permitan visualizar el fenómeno, manipular sus variables o analizar sus implicaciones físicas más allá del tratamiento matemático. Lo anterior se traduce en una desconexión entre los contenidos escolares y los contextos reales o tecnológicos en los que el fenómeno adquiere sentido, lo cual repercute en la motivación, la apropiación conceptual y la capacidad explicativa de los estudiantes. El efecto fotoeléctrico fue observado por primera vez por Heinrich Hertz en 1887, quien descu-

bró que, al iluminar una superficie metálica con luz de cierta frecuencia, los electrones eran emitidos desde esa superficie. Sin embargo, no pudo describirlo completamente; años después, Albert Einstein proporcionó una explicación teórica revolucionaria, por la cual ganó el Premio Nobel de Física en 1921.

En este marco, la enseñanza de la física moderna demanda la integración de recursos didácticos que faciliten la comprensión conceptual mediante experiencias interactivas, entornos de simulación o herramientas que permitan experimentar con modelos no accesibles en un laboratorio escolar convencional. Las tecnologías digitales, particularmente los simuladores interactivos, han demostrado ser un puente efectivo entre la abstracción teórica y la experimentación virtual. En este sentido, recursos como PhET Interactive Simulations, desarrollado por la Universidad de Colorado, ofrecen oportunidades para visualizar fenómenos cuánticos, manipular parámetros con precisión, interpretar gráficos, contrastar hipótesis y construir explicaciones basadas en evidencia (Durán *et al.*, 2017).

No obstante, el uso de un simulador por sí solo no garantiza aprendizajes significativos; requiere articularse con una metodología pedagógica sólida. Por ello, este trabajo se fundamenta en la teoría del aprendizaje significativo de David Ausubel, la cual plantea que la adquisición del conocimiento depende de la relación entre los nuevos conceptos y los saberes previos del estudiante. Esta perspectiva permite que los recursos digitales se conviertan en herramientas cognitivas mediadoras del proceso de construcción conceptual, siempre que estén integrados en una secuencia de enseñanza estructurada, con actividades orientadas a activar conocimientos previos, promover el conflicto cognitivo, fomentar la exploración conceptual y fortalecer la retención mediante prácticas guiadas (Méndez y Rodríguez, 2014).

Atendiendo a estas necesidades, se diseñó e implementó una secuencia didáctica en tres fases, realizada desde la Maestría en Enseñanza de la Física de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) y ejecutada en la asignatura de Física en grado undécimo del Colegio Hernando Caicedo, Colombia. En la fase inicial, se caracterizaron los conocimientos previos mediante un formulario diagnóstico que permitió identificar concepciones alternativas, intuiciones y niveles de familiaridad con fenómenos relacionados con la luz y la materia. En la fase intermedia, los estudiantes interactuaron con el simulador de efecto fotoeléctrico de PhET y exploraron variables como la intensidad de la luz, la longitud de onda, la frecuencia, el tipo de material y el voltaje de frenado. Esto posibilitó la observación directa del fenómeno, la formulación de hipótesis, la manipulación de datos numéricos y la construcción de explicaciones basadas en evidencias proporcionadas por el simulador. Finalmente, en la fase de cierre, los estudiantes resolvieron problemas, analizaron situaciones y evaluaron su comprensión mediante actividades de retención y aplicación, lo que permitió comparar la evolución conceptual entre las fases inicial y final (Moreira, 2017).

Con el propósito de evaluar la eficacia de la propuesta pedagógica, se utilizó el factor de ganancia normalizada de Hake, una herramienta ampliamente reconocida en investigación educativa para medir la evolución del aprendizaje en contextos de intervención didáctica. El análisis permitió evidenciar un incremento significativo en la comprensión de los estudiantes y mostró una ganancia de aprendizaje ubicada en la categoría alta. Este resultado sugiere que la integración de simuladores interactivos con metodologías sustentadas en teorías cognitivas fortalece tanto la comprensión conceptual como la capacidad de argumentación y análisis en fenómenos propios de la física moderna.

Este estudio se inscribe en el campo de la educación en ciencias experimentales y constituye un aporte al estado actual del conocimiento sobre la enseñanza de la física moderna en educación media, al analizar la implementación de simuladores interactivos en un contexto escolar colombiano con limitaciones de acceso a laboratorios experimentales. A diferencia de investigaciones previas centradas en niveles universitarios o en entornos urbanos con mayor infraestructura tecnológica, este trabajo aporta evidencia empírica sobre el potencial pedagógico de la simulación interactiva para favorecer la comprensión conceptual de fenómenos complejos, como el efecto fotoeléctrico, en estudiantes de educación media. Asimismo, la evaluación del aprendizaje mediante modelos cuantitativos, como la ganancia normalizada de Hake, permite fortalecer el diálogo entre prácticas pedagógicas mediadas por TIC y la investigación educativa en ciencias, y contribuye a la consolidación de propuestas didácticas contextualizadas y evaluables.

A pesar del creciente interés por el uso de simuladores interactivos en la enseñanza de la física, gran parte de las investigaciones se han desarrollado en contextos universitarios o en instituciones con amplia infraestructura tecnológica. En contraste, este trabajo se enfoca en el nivel de educación media dentro de

un contexto escolar colombiano caracterizado por limitaciones en el acceso a laboratorios experimentales y por una población estudiantil mayoritariamente de zonas rurales. Esta condición da un valor particular al trabajo, puesto que analiza la viabilidad pedagógica de los simuladores como mediadores del aprendizaje en escenarios educativos donde la experimentación tradicional resulta poco accesible.

Marco teórico conceptual

Efecto fotoeléctrico

En el marco de la ciencia, la física moderna generó investigaciones y estudios significativos en los primeros años del siglo xx. Precisamente, uno de esos trabajos de investigación es la explicación matemática y experimental del efecto fotoeléctrico. En un artículo publicado en 1905 por Albert Einstein, titulado y traducido del alemán “Desde un punto de vista heurístico sobre la generación y transformación de la luz”, el autor expone sus ideas desde una postura firme, en la que advierte que la energía de la luz no está distribuida uniformemente en todo el frente de onda en expansión, como se suponía con anterioridad en la teoría clásica, sino que se concentraría en paquetes de energía, como una cantidad definida que es proporcional a la frecuencia de la onda luminosa, y cuyo factor de proporcionalidad sería la constante de Planck (Eleizalde *et al.*, 2010).

En el análisis del efecto fotoeléctrico, Einstein postuló que en un haz de luz existen pequeños paquetes de energía llamados cuantos o fotones (Camargo-Urbe y Hedrich-Martínez, 2010) y estableció lo siguiente:

“La energía E de un fotón individual es igual y proporcional a la constante de la frecuencia f del fotón”

Lo anterior se describió mediante la ecuación (1)

$$E = hf \quad (1)$$

Donde h , es una constante universal llamada constante de Planck, nombrada en honor al físico alemán Max Planck, quien la introdujo en 1900 como parte de su solución al problema del cuerpo negro y la radiación electromagnética. El valor numérico de h , con la precisión actualmente conocida, se observa en la ecuación (2):

$$h = 6.6260693(11) \times 10^{-34} \text{Js} \quad (2)$$

En el análisis de Einstein, un fotón que golpea la superficie de un conductor es absorbido por un electrón; la transferencia de energía es un proceso de *todo o nada*. El electrón obtiene toda la energía del fotón o nada de él. Si esta energía es mayor que la barrera de energía potencial superficial, la función de trabajo ϕ , que es una propiedad intrínseca de cada material, el electrón puede escapar de la superficie.

Entonces, se puede decir que la energía cinética máxima para un electrón emitido es la energía hf que gana al absorber un fotón, menos la función de trabajo ϕ . Esto se resume en la ecuación (3), que relaciona la velocidad, la frecuencia y la función de trabajo así:

$$\frac{1}{2}mv_{\max}^2 = hf - \phi \quad (3)$$

Por otro lado, el potencial de frenado es la diferencia de potencial o voltaje necesario que se debe generar para detener por completo el flujo de electrones, es decir, para dejarlos sin velocidad y, por lo tanto, sin energía cinética. Este parámetro se ha denominado potencial de detención y es equivalente a la energía

cinética máxima. En consecuencia, la ecuación (4) muestra cómo se relacionan ambas cantidades físicas:

$$\frac{1}{2}mv_{max}^2 = eV_0 \quad (4)$$

Donde es una constante fundamental que representa la carga eléctrica mínima asociada a un electrón, correspondiente al valor de:

$$e = 1.602 \times 10^{-19} C$$

Ahora bien, al relacionar las ecuaciones (3) y (4), se obtiene finalmente la ecuación (5), que describe el comportamiento completo del efecto fotoeléctrico:

$$eV_0 = \frac{1}{2}mv_{max}^2 = hf - \phi \quad (5)$$

Si se mide el potencial de detención V_0 para cada uno de los valores de frecuencia f , se espera que V_0 sea una función lineal de f del tipo $V_0(f)$, de modo que la gráfica de los datos obtenidos debería representar una línea recta de la forma $y=mx+b$ al graficarse en un plano cartesiano, con el voltaje en el eje y y la frecuencia en el eje x .

Las mediciones de V_0 y f confirman esta predicción de forma experimental. Además, al ordenar la ecuación (5) para tal efecto, se obtiene que:

$$V_0 = \frac{h}{e}f - \frac{\phi}{e}$$

Donde la pendiente de la línea es $\frac{h}{e}$, y la intersección en el eje vertical (correspondiente a $f=0$) está en $V_0 = \frac{\phi}{e}$. Por lo tanto, se puede determinar tanto la función de trabajo ϕ que da información sobre el material específico (en electronvoltios), como el valor de la cantidad constante $\frac{h}{e}$.

Simuladores virtuales en la educación

En la actualidad, las herramientas digitales apoyan el proceso pedagógico en la educación, y resulta importante que los docentes se formen en su manejo e implementación en el aula, puesto que tanto las TIC como las plataformas de inteligencia artificial están al alcance de los estudiantes. Una correcta instrucción sobre su uso puede significar uno de estos dos panoramas: potenciar el aprendizaje en el aula o disminuir la capacidad creativa y de análisis de los estudiantes (Ávila-Ascanio, 2024).

Particularmente, las herramientas STEM, o herramientas educativas para la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas, por sus siglas en inglés, son fundamentales porque preparan a los estudiantes para el mundo laboral del siglo XXI. El uso de herramientas STEM en el aula fomenta el pensamiento crítico y promueve una comprensión integrada y aplicada del conocimiento; además, puede ayudar a los estudiantes a desarrollar habilidades de resolución de problemas, colaboración y creatividad, y prepararlos para enfrentar los desafíos del mundo moderno. Algunos ejemplos de estas herramientas son juegos interactivos, equipos de medición de laboratorio, kits de robótica, software de modelado, impresoras 3D o laboratorios virtuales (Castro-López, 2024).

Simulador PHET

En este trabajo se implementó una de estas herramientas, propia de la Universidad de Colorado, Estados Unidos. Esta universidad dispone de un software libre en su página web llamado PhET Interactive Simulations, un proyecto educativo centrado en el desarrollo de simulaciones interactivas y laboratorios virtuales para enseñar y aprender ciencia y matemáticas mediante la experimentación por computador. Este recurso puede descargarse para trabajar desde el computador o puede operarse en línea, y les permite a los docentes explicar temas de áreas como física, química, biología, matemáticas y ciencias de la Tierra, con temáticas específicas como el efecto fotoeléctrico, la naturaleza de la luz y la concepción de fotón (Carrión-Paredes *et al.*, 2020).

Simulador de efecto fotoeléctrico

Para este proyecto se eligió un simulador del área de física, en el que se puede apreciar cómo la luz con diferentes longitudes de onda

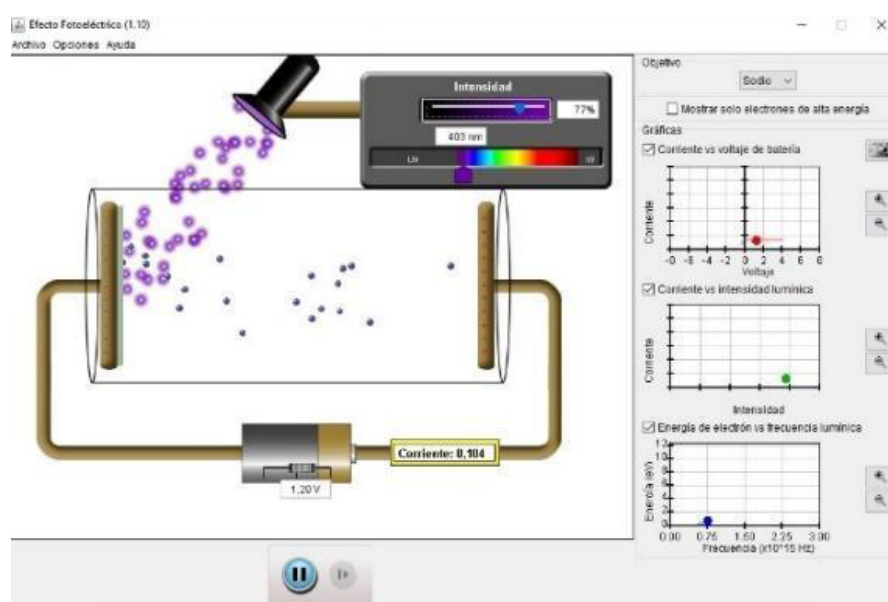
incide sobre placas metálicas de distintos materiales y, dadas determinadas condiciones físicas apropiadas, se puede observar cómo los electrones de dicho material se desprenden y generan una corriente eléctrica. De este modo, se recrea uno de los experimentos que dio origen al campo de la mecánica cuántica y cuyo funcionamiento actualmente puede verse en los paneles fotovoltaicos de algunos sistemas de iluminación de edificios, hogares o del alumbrado público.

Ahora bien, el simulador tiene como objetivos de aprendizaje la visualización y descripción del experimento del efecto fotoeléctrico, lo que permite una comprensión significativa de los resultados que se observan al modificar diversos parámetros en el simulador. Por ejemplo, es posible modificar los valores de: 1) la intensidad de la luz, 2) la longitud de onda de la luz, 3) el voltaje de alimentación y 4) el material sobre el cual incide la luz. La modificación de cada uno de estos parámetros genera variaciones en la corriente eléctrica producida y en la energía de los electrones que pueden moverse por el circuito. Es decir, pueden darse, o no, las condiciones para que se produzca el efecto fotoeléctrico, y es labor del estudiante analizar en qué condiciones se generará (Pacala, 2023).

La interacción del estudiante con el software facilita el proceso de enseñanza y aprendizaje, dado que brinda la posibilidad de que, en el aula, el estudiante observe, mida y socialice con detalle los resultados en el modelo de fotones de la luz y las condiciones en que estos pueden generar electricidad. Esto da origen a espacios de análisis y argumentación que le permiten explicar por qué, para cada uno de los metales, se deben establecer condiciones específicas sobre la luz, la cantidad de fotones emitidos y el voltaje de la fuente presente en el circuito para producir el efecto fotoeléctrico.

En la Figura 1 se observa el software en operación, junto con los diferentes parámetros de control que se pueden manipular. La fuente de potencial variable facilita al estudiante: 1) calcular la longitud de onda umbral para distintos metales (zinc, sodio, platino, cobre y calcio) y usar dicha longitud de onda para el cálculo de la frecuencia umbral, así como para el cálculo de la energía o trabajo de extracción para dichos metales; 2) conocida la longitud de onda umbral, irradiar el metal con una longitud de onda mayor y, con dicho valor, calcular la energía cinética máxima de los electrones extraídos; y 3) relacionar esa energía cinética con el potencial de frenado de los electrones y comprobar en la simulación que ambos coinciden.

Figura 1.
Simulador Interactivo del efecto fotoeléctrico



Fuente: PhET Interactive Simulations

El simulador ofrece una experiencia completa en términos experimentales y de medición que, por cuestiones de accesibilidad a laboratorios especializados, no se puede generar en un espacio de clase tradicional. En el simulador se puede manipular la longitud de onda de la luz en todo el espectro visible, desde los 380 nm (luz violeta) hasta los 780 nm (luz roja), con acceso también a algunos valores por debajo del ultravioleta, hasta 100 nm, y por encima del infrarrojo, hasta 850 nm. En un laboratorio real, esto implicaría el acceso a diferentes lámparas con la capacidad de emitir dicha radiación (Haldolaarachchige y Hettiarachchilage, 2021).

Pero las herramientas y los medios de apoyo no son suficientes para generar aprendizaje en el estudiante, ya que se requiere complementar la práctica educativa con una teoría de aprendizaje apropiada para el tipo de comunidad y el entorno en el que se va a trabajar. Estas teorías describen un proceso, proponen

condiciones y procedimientos que permiten que el individuo asimile nuevos conceptos y también pretenden entender, anticipar y regular la conducta a través del diseño de estrategias que faciliten el acceso, el desarrollo y la interiorización de nuevo conocimiento. En todo esto, el docente es un participante activo y un guía que no solo marca la ruta de trabajo, sino que también potencia la motivación y propone retos en clase.

Teoría de aprendizaje significativo de Ausubel

Una teoría de aprendizaje busca la interpretación de los casos de adquisición del conocimiento y sugiere soluciones a inconvenientes que pueden surgir en este tipo de procesos o, simplemente, nuevas perspectivas que, al implementarse en las metodologías actuales, mejoren de alguna manera los resultados en el proceso de enseñanza y aprendizaje. En función de la producción actual y del auge que ha tenido la investigación en educación, es notable que las teorías del aprendizaje son diversas y pueden enmarcarse en distintas corrientes del pensamiento, de acuerdo con Piaget.

Con base en lo planteado en el artículo “Aprendizaje significativo”, el autor Marco Antonio Moreira (2017) recurre a una de las teorías más importantes de la psicología constructivista: la teoría del aprendizaje significativo de David Ausubel. Su autor fue un psicólogo y pedagogo nacido en 1918, que llegó a convertirse en uno de los grandes referentes de la psicología constructivista.

En su teoría, Ausubel toma como punto de partida para la enseñanza los conocimientos previos que tiene el estudiante. Es decir, según Ausubel, el primer paso en la tarea de enseñar debe ser averiguar lo que sabe el estudiante, para así llegar a conocer la lógica que hay detrás de su modo de pensar y actuar. De

este modo, la enseñanza permite ayudar al estudiante a que siga aumentando y perfeccionando el conocimiento que ya tiene, en vez de imponer un temario que debe ser memorizado; así, se reconoce el valor del conocimiento ya arraigado y el potencial que este tiene para generar nuevos aprendizajes (Riveros-Conozco y Riveros-Conozco, 2014).

Modelo de Ausubel para el proceso de aprendizaje

La idea de aprendizaje significativo que estableció Ausubel es la siguiente: el conocimiento verdadero solo puede nacer cuando los nuevos contenidos tienen un significado a la luz de los conocimientos que ya se tienen. Es decir, aprender significa que los nuevos aprendizajes conectan con los anteriores; no porque sean lo mismo, sino porque deben relacionarse con ellos de un modo que cree un nuevo significado (Gallegos y Oblitas-Huerta, 2014). Por eso, el conocimiento nuevo encaja en el conocimiento previo del estudiante, pero este último, a su vez, se ve reconfigurado por el primero. Es decir, ni el nuevo aprendizaje es asimilado del modo literal en el que consta en los planes de estudio ni el conocimiento previo queda inalterado. A su vez, la nueva información asimilada hace que los conocimientos de base que trae consigo el estudiante sean más estables y completos, ya que se les da un significado más profundo y con más sentido (Contreras-Gelves et al., 2010).

Ahora bien, la teoría del aprendizaje significativo se complementa con la teoría de la asimilación, que permite entender cómo los nuevos conocimientos se integran en los viejos. La asimilación ocurre cuando una nueva información se integra en una estructura cognitiva más general, de modo que se presenta una continuidad entre ellas, y una sirve como expansión de la otra (Waipan y Merker, 2017).

Pero el proceso del aprendizaje significativo no termina ahí. Al principio, cada vez que se quiera recordar la información nueva, esta podrá elaborarse como si fuese una entidad separada del marco cognitivo más general en el que se encuentra integrada. Sin embargo, con el paso del tiempo, ambos contenidos se funden en uno solo, de modo que ya no se puede evocar solamente uno como una entidad separada de la otra, lo cual permite una integración sólida del conocimiento. De cierta manera, el conocimiento nuevo que se aprendió al principio queda olvidado como tal y, en su lugar, aparece un conjunto de informaciones cualitativamente diferente, pero que abarca tanto lo nuevo como lo previo.

Por otro lado, se busca establecer a los educandos como protagonistas de su propio aprendizaje, para que desarrollen, en el proceso, habilidades como la responsabilidad, la proactividad, el compromiso con su propio aprendizaje y, sobre todo, la conciencia sobre su forma de aprender. Esto tiene como fin que lleguen a obtener buenos resultados de sus saberes adquiridos, los cuales posteriormente llegarán a ser conocimientos que se puedan retener (Stewart y Stewart, 2010).

Elemento del modelo de Ausubel

Es importante resaltar que la teoría de aprendizaje de Ausubel se divide en los siguientes elementos:

- Aprendizaje de representaciones: consiste en retener el nombre de las palabras y otros símbolos y asociarlos con lo que representan. Para el caso de este trabajo, las representaciones de luz y movimiento.
- Aprendizaje de conceptos: en vez de asociar un símbolo a un objeto concreto y objetivo, este se relaciona con una idea abstracta, como lo son los fotones y los electrones en este trabajo. En este sentido, se puede diferenciar entre dos:
 - Formación: las características se adquieren de la experiencia directa.
 - Asimilación: se produce al ampliar el vocabulario.
- Aprendizaje de proposiciones: el conocimiento surge de la combinación lógica de conceptos. Para este trabajo, consiste en darse cuenta de que hay diferentes tipos de luz con mayor y menor energía, y de que esta puede generar cambios al interactuar con la materia. De esta manera, existe una estructura clara que se conecta con el proyecto y permite que tanto estudiantes como docente compartan un ambiente de aprendizaje significativo. Independientemente del tipo de aprendizaje significativo que el docente determine para su clase, según lo que propone Ausubel, es primordial tener en cuenta los siguientes apartados para la generación de un aprendizaje significativo en un grupo de personas o estudiantes (Gutiérrez, 2018).

- Fase inicial: conocimientos previos. El docente debe medir de alguna manera el conocimiento base de sus estudiantes; normalmente, esto se hace con un test de entrada, una discusión o un conversatorio previo orientado por el docente. La intención en esta fase es evaluar:
 - Predisposición: actitud del estudiante frente al desarrollo de la clase y la nueva temática.
 - Interacción con el objeto: material significativo; para este caso, el simulador de efecto fotoeléctrico.
- Fase intermedia: garantizar la adquisición y asimilación del conocimiento con el uso del material significativo. El docente debe realizar retroalimentación constante en todo el proceso, mientras observa y evalúa a sus estudiantes de manera pasiva.
- Fase final: retención y aplicación del conocimiento, verificados con instrumentos de evaluación. Al final de la secuencia, el docente debe nuevamente evaluar y medir el nivel de conocimiento de sus estudiantes, lo cual se hace de manera idéntica o muy similar a como lo hizo al principio. Esto significa que, si realizó un test de entrada, debe aplicar ese mismo test de salida, como es el caso de este trabajo.

Cada una de estas fases es fundamental en el proceso, pues están articuladas de tal forma que permiten hacer un seguimiento y una evaluación constantes durante el desarrollo, lo que posibilita realizar ajustes o cambios en determinado momento y garantizar la máxima apropiación de saberes.

Metodología

En este apartado se describen de manera sistemática los elementos metodológicos que sustentaron el diseño, la implementación y la evaluación de la secuencia didáctica orientada a la enseñanza del efecto fotoeléctrico en educación media. La metodología adoptada se estructuró con el propósito de garantizar coherencia entre los objetivos del estudio, las estrategias pedagógicas empleadas y los instrumentos utilizados para la recolección y el análisis de la información, de tal forma que la experiencia pueda ser comprendida, analizada y replicada por otros docentes o investigadores interesados en la enseñanza de la física moderna mediante el uso de simuladores interactivos. En consecuencia, se presentan los recursos necesarios, el enfoque de investigación, la caracterización de la población y los procedimientos de análisis, con énfasis tanto en el rigor metodológico como en la pertinencia educativa de la propuesta en un contexto escolar colombiano.

Materiales y equipos utilizados

Para el desarrollo de la secuencia didáctica y la recolección de la información asociada al proceso de enseñanza y aprendizaje del efecto fotoeléctrico, se emplearon diversos recursos tecnológicos y didácticos que permitieron la implementación de la propuesta en un contexto escolar real. La selección de estos materiales respondió a criterios de accesibilidad, pertinencia pedagógica y coherencia con los objetivos del estudio, y facilitó tanto la interacción de los estudiantes con el fenómeno físico como el registro sistemático de los datos obtenidos durante la intervención.

Entre los materiales y equipos utilizados se encuentran:

- Computadores con acceso a internet, empleados para la interacción directa con el simulador y el diligenciamiento de los instrumentos de recolección de información.
- Video beam, utilizado para la socialización colectiva de los conceptos, la demostración guiada del simulador y la discusión grupal de los resultados observados.
- Dispositivos celulares, empleados como apoyo para el acceso a los formularios digitales y la consulta puntual de información durante la actividad.
- Formularios de Google, utilizados como instrumento para la aplicación del test diagnóstico inicial y el test final, permitiendo la sistematización y análisis de los datos recolectados.
- Software de simulación interactiva PhET Interactive Simulations, desarrollado por la Universidad de Colorado y distribuido bajo licencia Creative Commons CC-BY 4.0, específicamente el simulador correspondiente al efecto fotoeléctrico.
- Agenda y lápiz, utilizados por el docente para el registro de observaciones cualitativas durante el desarrollo de la práctica educativa.

El uso articulado de estos materiales permitió recrear, en un entorno virtual, condiciones experimentales que no son fácilmente accesibles en laboratorios escolares tradicionales, lo que garantiza la viabilidad de la propuesta y su posible adaptación a contextos educativos con recursos limitados.

Método

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, que combinó estrategias de carácter cualitativo y cuantitativo, con el fin de analizar el proceso de enseñanza y aprendizaje del efecto fotoeléctrico desde múltiples niveles de interpretación. Este enfoque permitió no solo medir los cambios en el desempeño académico de los estudiantes, sino también comprender la evolución conceptual, las formas de argumentación y la manera en que los estudiantes resignificaron el fenómeno físico a partir de la interacción con el simulador y la mediación pedagógica.

Desde el componente cualitativo, el estudio se fundamentó en la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel y analizó los procesos de enseñanza y aprendizaje generados durante la implementación de la secuencia didáctica mediada por simulación interactiva (Jiménez-Chaves, 2020). Este análisis consideró las interacciones en el aula, las explicaciones construidas por los estudiantes, sus argumentos durante las discusiones guiadas y las observaciones realizadas por

el docente investigador, lo cual permitió identificar transformaciones en la comprensión del fenómeno y en el uso del lenguaje científico.

En cuanto al componente cuantitativo, se realizó un diseño de tipo pretest-postest, mediante la aplicación de un formulario diagnóstico inicial y un formulario final, con el propósito de medir la ganancia de aprendizaje asociada a la intervención pedagógica. Los datos obtenidos fueron sistematizados y analizados a partir de la ganancia normalizada de aprendizaje propuesta por Hake ($\langle G \rangle$), herramienta ampliamente utilizada en investigación en educación en ciencias para evaluar el impacto de estrategias didácticas basadas en intervención. Este procedimiento permitió establecer el nivel de desempeño alcanzado por el grupo y contrastar los saberes previos con los aprendizajes adquiridos al finalizar la secuencia.

Con el propósito de garantizar la validez y confiabilidad de los instrumentos utilizados en la investigación, se llevó a cabo un proceso de revisión previo a su aplicación. Los formularios inicial y final fueron revisados por docentes —colegas del colegio y de la universidad— con formación en enseñanza de la física y experiencia en investigación educativa, quienes evaluaron la pertinencia conceptual de las preguntas, la claridad del lenguaje y la correspondencia con los objetivos de aprendizaje propuestos. A partir de sus observaciones, se realizaron los ajustes necesarios para evitar ambigüedades y favorecer la comprensión por parte de los estudiantes. Por otra parte, la confiabilidad del proceso se fortaleció mediante la aplicación del mismo instrumento en modalidad pretest-postest, lo que permitió comparar de manera directa los cambios en el aprendizaje, reducir posibles sesgos y favorecer la credibilidad del estudio.

La investigación se desarrolló bajo un alcance descriptivo, en la medida en que se caracterizaron los elementos constitutivos de la práctica educativa y su incidencia en la enseñanza del efecto fotoeléctrico en estudiantes de educación media. La práctica se llevó a cabo en una institución educativa colombiana con una población aproximada de 380 estudiantes, de los cuales cerca del 80 % pertenece a contextos rurales y el 20 % restante a contextos urbanos, aspecto relevante para comprender las condiciones socioculturales del proceso formativo (Jiménez-Chaves, 2020).

La muestra estuvo conformada por 35 estudiantes de grado undécimo, distribuidos en 25 mujeres y 10 hombres, con edades entre 15 y 18 años. La selección de la muestra respondió a criterios de accesibilidad y pertinencia pedagógica, pues se consideró que los estudiantes contaban con conocimientos previos de mecánica clásica, condición necesaria para abordar conceptos introductorios de física moderna como el efecto fotoeléctrico. Desde el enfoque cualitativo, se valoraron además características como la disposición para aprender, la curiosidad y la participación durante el desarrollo de la secuencia didáctica. Cabe resaltar que solo se trabajó con un grupo de estudiantes, es decir, no hubo grupo de control, sino solo grupo experimental, lo cual abre la posibilidad de proponer un trabajo complementario que adopte este enfoque y fortalezca la construcción metodológica.

Para la recolección de la información se emplearon dos instrumentos principales: un formulario inicial y un formulario final, compuestos por preguntas abiertas y cerradas de selección múltiple, utilizados como técnica derivada de la entrevista. Estos instrumentos permitieron identificar el perfil sociodemográfico de los estudiantes, caracterizar los saberes

previos y establecer los conocimientos adquiridos tras la intervención. Dicho instrumento fue denominado “ficha técnica para la recolección de información” y constituyó la base para el análisis tanto cuantitativo como cualitativo de los resultados.

El análisis cualitativo de la información se apoyó en procesos de categorización y triangulación, e integró los datos obtenidos de los formularios, las observaciones del docente y el marco teórico adoptado. Esta triangulación permitió fortalecer la validez y confiabilidad del estudio, al contrastar múltiples fuentes de información, enfoques metodológicos y perspectivas teóricas, lo que facilitó una comprensión más amplia del fenómeno educativo analizado.

En síntesis, el método adoptado permitió articular de manera coherente la simulación interactiva, la teoría del aprendizaje significativo y el análisis mixto de datos, lo que generó un marco metodológico sólido para evaluar el impacto de la propuesta didáctica en la enseñanza del efecto fotoeléctrico en educación media. El uso de tecnologías educativas, combinado con una mediación pedagógica estructurada, favoreció procesos de aprendizaje significativo y aportó evidencia empírica sobre la pertinencia de este tipo de estrategias en contextos escolares con limitaciones de acceso a laboratorios experimentales (Castro-López, 2024; Carrión-Paredes *et al.*, 2020).

Resultados o hallazgos

Los resultados obtenidos en la práctica educativa se analizaron a partir del factor de ganancia normalizada de Hake (Gutiérrez, 2018), complementado con una revisión cualitativa de las respuestas y explicaciones generadas por los estudiantes en las diferentes fases de la secuencia didáctica. El propósito fue caracterizar la evolución conceptual del grupo frente al efecto fotoeléctrico y determinar el impacto pedagógico del uso del simulador interactivo articulado con la teoría del aprendizaje significativo.

Inicialmente, se calculó la puntuación máxima posible para el grupo de 35 estudiantes (455 respuestas correctas posibles), lo que permitió establecer un punto de referencia para interpretar los avances. En el diagnóstico inicial, los estudiantes alcanzaron 150 respuestas correctas (32,99 % normalizado), lo cual evidenció que, aunque algunos tenían nociones intuitivas sobre la interacción entre luz y materia, predominaban las concepciones alternativas y un conocimiento fragmentado sobre el fenómeno. Este resultado coincide con lo reportado por la literatura en educación en ciencias, donde los tópicos de física moderna suelen generar dificultades debido a su naturaleza abstracta y a la ausencia de prácticas experimentales accesibles.

Tras la implementación de la secuencia didáctica, el puntaje del formulario final aumentó a 378 respuestas correctas (83,02 % normalizado). Esta diferencia refleja no solo una mejora cuantitativa significativa, sino también un cambio cualitativo en la manera como los estudiantes explicaron y argumentaron los fe-

nómenos. En comparación con sus respuestas iniciales, las nuevas explicaciones mostraron un tránsito desde descripciones basadas en intuiciones o analogías simples hacia argumentaciones que incorporaron vocabulario técnico, relaciones cuantitativas y análisis de las variables manipuladas en el simulador (frecuencia, intensidad, voltaje de frenado y material). Un ejemplo de esto fue que, al preguntar sobre las condiciones necesarias para que se produzca el efecto fotoeléctrico, algunos estudiantes manifestaron inicialmente ideas asociadas a modelos clásicos de la luz, con respuestas como: "Los electrones se desprenden cuando la luz es muy intensa, porque entre más tenga la fuente, mayor energía recibe el material". Esta afirmación refleja una concepción en la que la intensidad se interpreta como el factor que determina la emisión de electrones.

Sin embargo, luego de la intervención propuesta en este trabajo, se identificaron respuestas tales como: "No importa solo la intensidad, la frecuencia debe superar un valor mínimo propio del material; si no se alcanza esa frecuencia umbral, no hay emisión de electrones, aunque la luz sea muy intensa". Esta explicación evidencia la apropiación de conceptos fundamentales como frecuencia umbral y función de trabajo, así como la superación de interpretaciones basadas exclusivamente en la física clásica.

Con esto, se puede observar que al comparar los resultados iniciales (32,99%) y finales (83,02%), hay una diferencia porcentual de poco más del 50%, que es uno de los resultados que se pretendía obtener y que dan cuenta de la efectividad de la secuencia y el modelo de enseñanza aplicado. Ahora bien, para obtener la ganancia de aprendizaje normalizada $\langle G \rangle$ se reemplazaron los valores obtenidos anteriormente en los resultados $\langle For_{inicial} (\%) \rangle$ y $\langle For_{final} (\%) \rangle$ en la siguiente ecuación:

$$\langle G \rangle = \frac{\langle For_{final} (\%) \rangle - \langle For_{inicial} (\%) \rangle}{1 - \langle For_{inicial} (\%) \rangle} \quad (6)$$

Con lo cual se obtiene un valor para el coeficiente de Hake de:

$$\langle G \rangle = \frac{0.8308 - 0.3296}{1 - 0.3296}$$

$$\langle G \rangle = 0.75$$

Esto indica que la estrategia de enseñanza diseñada tuvo un impacto relevante en la comprensión del fenómeno, fortaleció tanto el razonamiento conceptual como la capacidad para interpretar representaciones gráficas y resultados numéricos (Hidalgo-Carmona y Abarca-Melo, 1991). La ubicación del punto (0,33; 0,50) en la gráfica de ganancia confirma que los saberes previos, aunque limitados, se transformaron de manera significativa tras la intervención, lo que muestra que el simulador actuó como mediador eficaz para generar procesos cognitivos y favorecer la reestructuración de ideas.

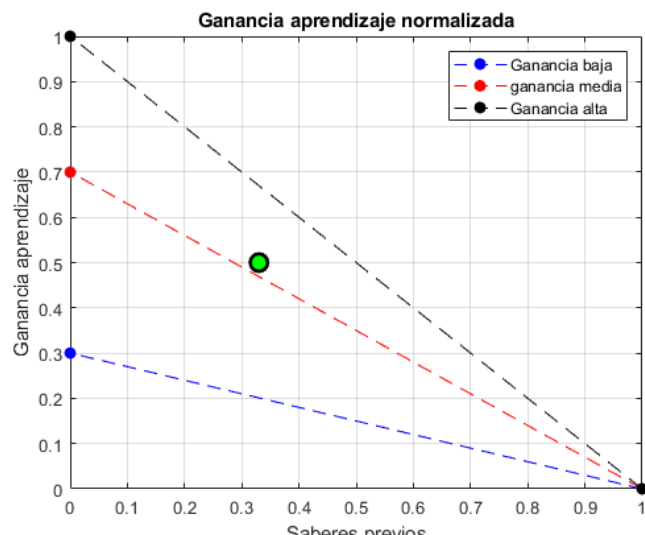
La Figura 2 presenta la distribución de la ganancia de aprendizaje normalizada en función de los resultados obtenidos por el grupo antes y después de la intervención. En este gráfico, el eje horizontal corresponde al porcentaje de desempeño alcanzado en la prueba diagnóstica inicial, mientras que el eje vertical representa el porcentaje obtenido en la evaluación final. Cada punto en el plano indica la relación entre ambos desempeños y permite visualizar la magnitud del progreso académico del grupo.

El punto identificado corresponde a los valores promedio alcanzados por los estudiantes, y su ubicación por encima de la región asociada a ganancias medias indica una mejora sustancial en la comprensión del fenómeno estudiado. En términos interpretativos, cuanto más se aleja el punto de la línea

de ganancia baja, donde el desempeño inicial y final serían equivalentes, mayor es el impacto de la intervención didáctica. La posición observada sugiere que los estudiantes no solo incrementaron su rendimiento, sino que lograron una transformación conceptual consistente, coherente con los principios del aprendizaje significativo y con los resultados cuantitativos obtenidos mediante el factor de Hake (Barrón-Ruiz, 2006).

Figura 2.

Ganancia de aprendizaje normalizada



Fuente: elaboración propia.

En conjunto, los resultados muestran que la estrategia implementada no solo permitió una mejora notable en la comprensión del efecto fotoeléctrico, sino que también aporta evidencia empírica sobre la viabilidad del uso de simuladores interactivos para la enseñanza de contenidos de física moderna en educación media, un nivel educativo aún poco explorado en la literatura especializada, especialmente en contextos escolares con limitaciones de infraestructura experimental. De igual forma, contribuyó al fortalecimiento de competencias de análisis, argumentación y uso de tecnologías educativas. La combinación del simulador interactivo con la teoría del aprendizaje significativo demostró ser una forma efectiva de superar las dificultades tradicionales asociadas a la enseñanza de la física moderna, al tiempo que permitió reconectar a los estudiantes con experiencias de aprendizaje activas y contextualizadas (Jiménez-Chaves, 2020; Gallegos y Oblitas-Huerta, 2014).

Aunque los resultados fueron positivos, también se reconocen limitaciones que condicionan la generalización del estudio, tales como el tamaño y la naturaleza de la muestra, puesto que el grupo estuvo compuesto por 35 estudiantes de una sola institución, por lo que los resultados no pueden extrapolarse directamente a otros contextos sin estudios complementarios. También se identifica dependencia del acceso a recursos tecnológicos, dado que la implementación

del simulador requiere dispositivos electrónicos y conectividad estable; por lo tanto, en instituciones con dificultades tecnológicas, la estrategia podría verse limitada.

En síntesis, los resultados permitieron identificar varios aportes relevantes. En primera instancia, la mejora significativa en la comprensión conceptual del efecto fotoeléctrico, evidenciada tanto en la ganancia de aprendizaje como en la calidad de los argumentos producidos por los estudiantes. Segundo, la validación del simulador PhET como herramienta pedagógica eficaz, especialmente para conceptos de física moderna que no pueden ser replicados en el aula por limitaciones técnicas o tecnológicas. Tercero, la maduración conceptual durante las discusiones guiadas, con lo cual los estudiantes lograron identificar de manera más clara las condiciones necesarias para que se produzca el efecto fotoeléctrico, comprendieron la relación entre frecuencia umbral y función de trabajo y adquirieron la habilidad de predecir resultados al manipular variables en el simulador. Finalmente, se evidenció que integrar tecnologías educativas con modelos pedagógicos estructurados mejora sustancialmente los procesos de enseñanza y aprendizaje, lo cual es coherente con investigaciones actuales en educación en ciencias.

Conclusiones

Los resultados obtenidos evidencian que la implementación de una secuencia didáctica mediada por el simulador PhET del efecto fotoeléctrico, articulada con la teoría del aprendizaje significativo, favoreció una mejora sustancial en la comprensión del fenómeno por parte de los estudiantes. Esta afirmación se respalda en el incremento del desempeño del grupo entre el diagnóstico inicial y la evaluación final, así como en la ganancia de

aprendizaje estimada mediante el factor de Hake, ubicada en la categoría alta, lo que sugiere un impacto pedagógico relevante de la intervención en el aprendizaje del tópico de física moderna abordado (Bryce y Blown, 2024; Delgado, 2024).

En coherencia con el análisis cualitativo, se observó una evolución en la forma de argumentar y explicar el fenómeno: los estudiantes transitaban de interpretaciones basadas en intuiciones o descripciones fragmentadas hacia explicaciones que integraron vocabulario técnico, relaciones entre variables manipuladas en el simulador (frecuencia, intensidad, material y voltaje de frenado) y justificaciones más consistentes. Este cambio no solo refleja una ganancia conceptual, sino también el fortalecimiento de competencias asociadas al razonamiento científico escolar, tales como la interpretación de evidencia, el contraste de hipótesis y la construcción de explicaciones fundamentadas.

De igual manera, la experiencia mostró que la mediación tecnológica adquiere mayor sentido cuando se integra dentro de una metodología estructurada: la activación de saberes previos, la exploración guiada con simulación y la fase de retención mediante aplicación de problemas constituyeron un encadenamiento didáctico que facilitó la articulación entre teoría y práctica. En este sentido, el simulador funcionó como un mediador cognitivo que permitió representar experimentalmente un fenómeno no accesible en laboratorios escolares tradicionales, contribuyó a disminuir la barrera de abstracción propia de la física moderna y favoreció aprendizajes contextualizados (Carrión-Paredes *et al.*, 2020; Moreira, 2017).

En términos metodológicos, el enfoque mixto permitió complementar la medición del aprendizaje con la interpretación de las transformaciones conceptuales observadas

durante la implementación. La combinación de instrumentos (pretest-postest) con la lectura cualitativa de respuestas y discusiones orientadas aportó consistencia al análisis, al integrar evidencia cuantitativa sobre desempeño con evidencia cualitativa sobre la calidad argumentativa y la comprensión del fenómeno. Esto refuerza la pertinencia de este tipo de diseños para valorar intervenciones educativas en ciencias que buscan no solo resultados numéricos, sino también comprensión profunda.

Finalmente, los hallazgos sugieren que las estrategias basadas en simulación interactiva, articuladas con teorías cognitivas del aprendizaje, representan una alternativa viable y pertinente para la introducción de contenidos de física moderna en educación media, especialmente en contextos escolares donde existen limitaciones de infraestructura experimental. En este sentido, el estudio aporta al estado del arte al proporcionar evidencia empírica sobre la efectividad de este tipo de mediaciones didácticas en un nivel educativo y un contexto institucional poco documentados en la literatura, y contribuye a ampliar los referentes existentes que se concentran, en su mayoría, en contextos universitarios o con mayores recursos tecnológicos (Ávila-Ascanio y Viuche-Ortiz, 2024).

No obstante, se reconoce como limitación el tamaño y la naturaleza de la muestra, al estar circunscrita a un solo grupo escolar, por lo que se recomienda ampliar futuras investigaciones a otros contextos institucionales, así como comparar los resultados con grupos control o intervenciones de mayor duración. En prospectiva, la propuesta puede extenderse a otros fenómenos científicos disponibles en entornos PhET y, mediante adaptaciones metodológicas, aportar a la consolidación de prácticas pedagógicas mediadas por TIC que fortalezcan la indagación, el uso comprensivo del conocimiento científico y la argumentación en el aula.

Referencias

- Ávila-Ascanio, L. F. y Viuche-Ortiz, Y. (2024). El uso de las TIC en las prácticas docentes. *Revista Docencia Universitaria*, 25(2), 45-59. <https://doi.org/10.18273/revdu.v25n2-2024004>
- Barrón-Ruiz, Á. (1993). Aprendizaje por descubrimiento: principios y aplicaciones inadecuadas. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), 3-11. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4545>
- Bryce, T. G. K. y Blown, E. J. (2024). Ausubel's Meaningful Learning Re-Visited. *Current Psychology*, 43(5), 4579-4598. <https://doi.org/10.1007/s12144-023-04440-4>
- Bruner, J. S. (1966). *Toward a theory of instruction*. Harvard University Press.
- Camargo-Uribe, Á. y Hederich-Martínez, C. (2010). Jerome Bruner: dos teorías cognitivas, dos formas de significar, dos enfoques para la enseñanza de la ciencia. *Psicogente*, 13(24), 329-346. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=497552357008>

- Carrión-Paredes, F. A., García-Herrera, D. G., Erazo-Álvarez, C. A. y Erazo-Álvarez, J. C. (2020). Simulador virtual PhET como estrategia metodológica para el aprendizaje de química. *CIENCIAMATRIA*, 6(3), 193-216. <https://doi.org/10.35381/cm.v6i3.396>
- Castro-López, G. A., Peñaherrera-Larenas, M. F., Mayorga-Aguirre, A. S. y Touma-Faytong, M. A. (2024). Educación STEM: fomentando el pensamiento crítico y la innovación en las aulas. *Polo del Conocimiento*, 9(10), 1414-1429. <https://doi.org/10.23857/pc.v9i10.8182>
- Contreras-Gelves, G. A., García-Torres, R. y Ramírez-Montoya, M. S. (2010). Uso de simuladores como recurso digital para la transferencia de conocimiento. *Apertura: Revista de Innovación Educativa*, 2(1), 86-100. <https://www.udgvirtual.udg.mx/apertura/index.php/apertura/article/view/22>
- Delgado, J. M. (2024). El efecto fotoeléctrico y el espectro electromagnético a través de simuladores interactivos. *Latin American Journal of Science Education*, 11(2), 45-60. https://www.lajse.org/nov24/2024_22017_2.pdf
- Durán, R., Terán, J. C. y Gutiérrez, G. M. (2017). Implementación de un experimento cualitativo para la enseñanza del efecto fotoeléctrico a estudiantes de educación, mención física y matemática. *Latin-American Journal of Physics Education*, 11(1), 1-7. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6019782>
- Eleizalde, M., Parra, N., Palomino, C., Reyna, A. y Trujillo, I. (2010). Aprendizaje por descubrimiento y su eficacia en la enseñanza de la biotecnología. *Revista de Investigación*, 34(71), 271-290. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376140386013>
- Escudero, C., Adrián-Jaime, E. y González, S. B. (2016). Hacia la conciencia cuántica a partir del efecto fotoeléctrico. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(3), 183-200. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1998>
- Gallegos, W. L. A. y Oblitas-Huerta, A. (2014). Aprendizaje por descubrimiento vs. aprendizaje significativo: un experimento en el curso de historia de la psicología. *Boletín de la Academia Paulista de Psicología*, 34(87), 455-471. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94632922010>
- Gutiérrez, C. A. (2018). Herramienta didáctica para integrar las TIC en la enseñanza de las ciencias. *Revista Interamericana de Investigación, Educación y Pedagogía*, 11(1), 101-126. <https://doi.org/10.15332/s1657-107X.2018.0001.03>
- Haldolaarachchige, N. y Hettiarachchilage, K. (2021). A Set of Virtual Experiments of Fluids, Waves, Thermodynamics, Optics, and Modern Physics for Virtual Teaching of Introductory Physics. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.00993>
- Hidalgo-Carmona, C. G. y Abarca-Melo, N. (1991). *Comunicación interpersonal: programa de entrenamiento en habilidades sociales*. Universidad Católica de Chile.
- Jiménez-Chaves, V. E. (2020). Triangulación metodológica cualitativa y cuantitativa. *Revista sobre Estudios e Investigaciones del Saber Académico*, 14(14), 76-81. <https://revistas.uni.edu.py/index.php/rseisa/article/view/276>
- Méndez, G. y Rodríguez, S. (2014). Physics Tracker: una implementación didáctica para la presentación del tema tiro parabólico en bachillerato. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (número especial), 734-739. <https://doi.org/10.17227/01203916.3381>
- Moreira, M. A. (2017). Aprendizaje significativo como un referente para la organización de

la enseñanza. *Archivos de Ciencias de la Educación*, 11(12), e029. <https://doi.org/10.24215/23468866e029>

Pacala, F. A. (2023). PhET's Photoelectric Effect Simulation: Experiments and Analysis for Classroom Practice. *Asian Journal of Science Education*, 5(1), 70-82. <https://doi.org/10.24815/ajse.v5i1.31373>

Riveros-Conozco, E. I. y Riveros-Conozco, J. (2014). *El método de descubrimiento guiado en el aprendizaje de análisis combinatorio en los alumnos del quinto grado de educación secundaria de la institución educativa "Chinchaysuyo", Sapallanga-Huancayo* (trabajo de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú). <http://hdl.handle.net/20.500.12894/2547>

Stewart, J. y Stewart, G. (2010). Correcting the Normalized Gain for Guessing. *The Physics Teacher*, 48(3), 194-196. <https://doi.org/10.1119/1.3317458>

Waipan, L. y Merker, A. (2017). *El cerebro adolescente va al aula*. Bonum.