INNOVACIONES Y ESTRATEGIAS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

EDICIONES
COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA

Gilberto Castrejón

Innovaciones y estrategias para el aprendizaje y la enseñanza de la Física

EDICIONES
COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA

Ediciones Comunicación Científica se especializa en la publicación de conocimiento científico de calidad en español e inglés en soporte de libro impreso y digital en las áreas de humanidades, ciencias sociales y ciencias exactas. Guía su criterio de publicación cumpliendo con las prácticas internacionales: dictaminación de pares ciegos externos, autentificación antiplagio, comités y ética editorial, acceso abierto, métricas, campaña de promoción, distribución impresa y digital, transparencia editorial e indexación internacional.

Cada libro de la Colección Ciencia e Investigación es evaluado para su publicación mediante el sistema de dictaminación de pares externos y autentificación antiplagio. El proceso de dictaminación y su trazabilidad puede consultarse, así como el libro en Acceso Abierto.

comunicacion-cientifica.com

DOI.ORG/10.52501/cc.399

COMUNICACIÓN CIENTÍFICA
PUBLICACIONES ARBITRADAS
HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS

CC+I
COLECCIÓN CIENCIA e INVESTIGACIÓN

Innovaciones y estrategias para el aprendizaje y la enseñanza de la Física

Gilberto Castrejón
(coordinador)

EDICIONES
COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA

Innovaciones y estrategias para el aprendizaje y la enseñanza de la física / coordinador Gilberto Castrejón.— Ciudad de México : Comunicación Científica, 2025. (Colección Ciencia e Investigación)

169 páginas : ilustraciones ; 23 x 16.5 centímetros

DOI 10.52501/cc.399

ISBN 978-968-9738-54-1

1. Física – Estudio y enseñanza. 2. Innovaciones educativas. I. Castrejón, Gilberto, coordinador.

LC: QC20.8 I55 DEWEY: 530.15072 I55

La titularidad de los derechos patrimoniales y morales de esta obra pertenece al coordinador D.R. © Gilberto Castrejón, 2025. Reservados todos los derechos conforme a la Ley. Su uso se rige por una licencia Creative Commons BY-NC-ND 4.0 Internacional, https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.es

Primera edición en Ediciones Comunicación Científica, 2025

Diseño de portada: Francisco Zeledón • Interiores: Guillermo Huerta

Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C. V., 2025,
Av. Insurgentes Sur 1602, piso 4, suite 400,
Crédito Constructor, Benito Juárez, 03940, Ciudad de México,
Tel.: (52) 55-5696-6541 • Móvil: (52) 55-4516-2170
info@comunicacion-cientifica.com • www.comunicacion-cientifica.com
comunicacioncientificapublicaciones @ ComunidadCient2

ISBN 978-968-9738-54-1

DOI 10.52501/cc.399

OPEN ACCESS

Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos externos.
La trazabilidad de la dictaminación puede consultarse, así como el libro en acceso abierto, en https://doi.org/10.52501/cc.399

Índice

Prólogo 9
Introducción 11

ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS

1. Implementing STEAM through Inquiry-Based Learning: A Case Study on Energy in Free Fall in Surinamese Secondary Education
Cindy Leeflang, César Eduardo Mora Ley y Carmen del Pilar Suárez Rodríguez 17

2. Análisis conceptual de la cinemática del movimiento de proyectiles a través de simuladores PhET
Edgar Alejandro Camacho Medina, Francisco Ramos Brito, Jesús Alberto Flores Cruz y Mario Humberto Ramírez Díaz 35

3. Estado del conocimiento sobre la gamificación como metodología activa en la enseñanza de la programación para ciencias: plataforma Classcraft
Abraham Hi Rivera, Jesús Alberto Flores Cruz y Anahi Alcázar Guzmán.... 53

INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS INMERSIVAS Y COMPUTACIONALES

4. Impacto del aula invertida y la realidad aumentada en la enseñanza del torque en el bachillerato
Juan Carlos Serna, Jesús Alberto Flores Cruz y Francisco Aguilar Acevedo. 73

5. Motivación al usar un simulador en realidad aumentada móvil
Motivation using a mobile augmented reality simulator
Francisco Aguilar Acevedo, Jesús Alberto Flores Cruz, Roberto Romano Rivera y Luis Alberto Rodríguez Morales 85

6. Integración de la programación en python para el desarrollo del pensamiento físico matemático en la enseñanza de la caída de los cuerpos
The Integration of Python Programming in the Development of Physics–Mathematical Thinking for Teaching Falling Bodies
David Steven Maldonado Aponte y Olga Lucía Castiblanco Abril 97

DESARROLLO DE HABILIDADES COGNITIVAS

7. Desarrollo del pensamiento crítico en física mediante inteligencia artificial.
Development of critical thinking in physics through artificial intelligence. *Guillermina Ávila García* 117

8. Aprendiendo principios de física cuántica con filosofía: valoraciones cualitativas sobre su efecto en el pensamiento crítico
Jesús Diego Tuero-O´Donnell Zulaica y Pamela Geraldine Olivo Montaño… 127

9. Análisis de indicadores indirectos de rendimiento durante actividades específicas usando Emotiv Epoc X
Fabiola Escobar Moreno y Clara Mayo Juárez 139

Sobre los autores 155

Prólogo

José Luis Santana Fajardo
Universidad de Guadalajara

DOI: https://doi.org/10.52501/cc.399.00.01

La formación de ciudadanos científicamente alfabetizados ha sido siempre un tema de vital importancia para el desarrollo de las sociedades. En la actualidad, adquiere una relevancia aún mayor, dado que el uso de las tecnologías de la información y la comunicación forma parte de nuestra vida cotidiana, y se suma el creciente empleo de tecnologías basadas en inteligencia artificial que nos ponen al alcance cantidades inconmensurables de información.

En este contexto, resulta imprescindible que los estudiantes desarrollen habilidades para el pensamiento crítico, el trabajo colaborativo, la toma de decisiones fundamentadas, el planteamiento y comprobación de hipótesis, la elección de fuentes confiables de información, el análisis de datos provenientes de diversas fuentes experimentales, así como la comunicación ética de sus hallazgos y conclusiones.

De ahí la necesidad de contar con programas de posgrado orientados a la formación de docentes e investigadores que indaguen sobre las metodologías de enseñanza y aprendizaje que contribuyen al desarrollo de dichas habilidades. El aprendizaje de los conceptos y destrezas necesarios para el estudio de la física requiere profesionales que incorporen los hallazgos más recientes en el ámbito de la didáctica de las ciencias. En particular, la enseñanza de la física comparte esta necesidad y busca, entre sus vertientes, mejorar las actitudes hacia el aprendizaje, fomentar el pensamiento científico, favorecer la comprensión del mundo que nos rodea y explorar las posibilidades que ofrece la tecnología para apoyar estos procesos.

Por ello, obras como la presente resultan especialmente pertinentes y relevantes para la difusión de avances e innovaciones en el campo de la física

educativa. Este tipo de trabajos constituyen canales de comunicación en los que los investigadores comparten los resultados de sus estudios y, al mismo tiempo, impulsan el desarrollo de la disciplina al plantear nuevas preguntas y abrir caminos para futuras líneas de investigación.

El presente material reúne resultados de investigación organizados en tres categorías: estrategias didácticas, integración de tecnologías inmersivas y computacionales, y desarrollo de habilidades cognitivas. Los capítulos que lo conforman presentan hallazgos alentadores en torno al desarrollo de aprendizajes y habilidades vinculadas con la física. Entre los temas abordados se incluyen metodologías STEM, el aula invertida, el uso de simulaciones y la gamificación, la aplicación de realidad aumentada y programación, así como la incorporación de inteligencia artificial y la reflexión filosófica para fomentar el pensamiento crítico, junto con la medición de la actividad cerebral en tareas orientadas a estimular procesos cognitivos.

Como el lector podrá advertir, la actualidad de los temas tratados es manifiesta, al igual que su pertinencia y relevancia para el avance del conocimiento en un área de la enseñanza de las ciencias en proceso de consolidación: la física educativa. En esta obra participan tanto estudiantes del programa de física educativa del CICATA, Unidad Legaria-IPN, como docentes e investigadores nacionales y extranjeros de reconocido prestigio y autoridad en el campo.

Se invita, por tanto, a los interesados en la enseñanza de la física y al público en general a adentrarse en esta obra que, sin duda, constituye un referente significativo en la construcción y el fortalecimiento de esta disciplina emergente.

Introducción

DOI: https://doi.org/10.52501/cc.399.00.02

La física educativa corresponde a una disciplina que poco a poco ha ido adquiriendo una importancia notable en el terreno de la investigación en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, sobre todo, por la diversidad de enfoques y metodologías, a la vez que se puede echar mano de distintas herramientas que dan testimonio de la trascendencia de una disciplina fundamental. En este sentido, las investigaciones que forman parte del presente volumen ofrecen al lector interesado en la didáctica de las ciencias, una muestra significativa de las posibilidades y los alcances de la investigación en física educativa que se llevan a cabo en el ámbito de habla española, y no solo de este.

Así, el libro *Innovaciones y estrategias para el aprendizaje y la enseñanza de la física*, está dividido en tres partes que, a su vez, están conformadas por tres capítulos cada una. La primera parte presenta un conjunto de investigaciones que toman como base la innovación de estrategias didácticas, tales como la gamificación o el aprendizaje basado en la investigación; la segunda parte se enfoca en presentar investigaciones relacionadas con la aplicación de tecnologías como la realidad aumentada o las simulaciones para la enseñanza de conceptos de física; finalmente, la tercera parte agrupa tres investigaciones acerca de cómo desarrollar ciertas habilidades como el pensamiento crítico, mediante, por ejemplo, el uso de inteligencia artificial como el ChatGPT.

En la primera parte, titulada *Estrategias didácticas*, el primer capítulo titulado "Implementing STEAM through Inquiry-Based Learning: A Case

Study on Energy in Free Fall in Surinamese Secondary Education", Leeflang et al. nos presentan una investigación llevada a cabo en el contexto de la educación secundaria en Surinam mediante una metodología que combinó el enfoque STEAM con el Aprendizaje Basado en la Investigación (por sus siglas en inglés: IBL) para la enseñanza de la transformación de la energía en caída libre. La implementación consistió en diseñar la estrategia didáctica STEAM-IBL con un grupo de control y uno experimental, aplicando un pre/pos Test de 25 ítems. Los resultados mostraron que los estudiantes del grupo experimental mejoraron su comprensión conceptual, sus habilidades de pensamiento crítico y sus habilidades en la resolución de problemas. Cabe señalar que la autora principal es estudiante del programa de doctorado en Ciencias en Física Educativa del IPN. El capítulo "Análisis conceptual de la cinemática del movimiento de proyectiles a través de simuladores PhET", Camacho-Medina et al. recurren al uso de los simuladores PHET para desarrollar la comprensión conceptual de la cinemática de proyectiles en estudiantes de bachillerato de una institución del norte de México. Los resultados obtenidos les permitieron a los autores documentar una mejora notable en los estudiantes, tanto en la comprensión del movimiento de los proyectiles, como en el uso de las magnitudes físicas involucradas en dicho fenómeno, a la vez que una aplicación adecuada de las ecuaciones. Su estudio mostró, a su vez, la efectividad de los simuladores PHET para el nivel educativo respectivo. Finalmente, el capítulo titulado: "Estado del conocimiento sobre la gamificación como metodología activa en la enseñanza de la programación: plataforma Classcraft" presenta una investigación documental acerca del estado de conocimiento en el que se encuentra actualmente la metodología de gamificación. De aquí, Hi Rivera et al. nos muestran que la mayoría de las investigaciones que recurren a dicha metodología se ubican en el nivel superior y, con un enfoque cualitativo, además, documentan que en el caso específico de la plataforma Classcraft, esta permite integrar diversos elementos como incluir recompensas, narrativas, desafíos y retroalimentación, mejorando el rendimiento académico, el trabajo colaborativo y el pensamiento crítico.

La segunda parte se titula: *Integración de tecnologías inmersivas y computacionales*. En el primer, capítulo de nombre: "Impacto del aula invertida y realidad aumentada en la enseñanza del torque en el bachillerato",

Serna *et al.* muestran cómo la metodología de Aula Invertida (AI), vinculada a la realidad aumentada (RA), resulta efectiva en la enseñanza del concepto de torque para estudiantes de bachillerato. Los autores implementaron su estrategia didáctica con dos grupos, uno experimental, utilizando AI+RA para visualizar y manipular modelos 3D, y otro grupo control, mediante instrucción tradicional. A su vez, evaluaron la percepción estudiantil con un cuestionario validado y aplicaron análisis estadísticos descriptivos. Los resultados les permitieron acreditar una aceptación alta de la metodología AI+RA y sus potencialidades para la enseñanza de conceptos físicos en el nivel educativo respectivo. El capítulo "Motivación al usar un simulador en realidad aumentada móvil" presenta una investigación muy interesante, donde Aguilar et al. nos muestran el grado de motivación en estudiantes de ingeniería sobre el uso de un simulador en realidad aumentada móvil para la enseñanza de las leyes de Newton. Los resultados destacan, sobre todo, que dichos simuladores contribuyen a mantener el interés de los estudiantes, a pesar de que muchos de estos no tengan suficiente confianza en dichos simuladores para aprender física. En el capítulo de nombre: "Integración de la programación en Python para el desarrollo del pensamiento físico-matemático en la enseñanza de la caída de los cuerpos", Maldonado-Aponte y Castiblanco-Abril nos presentan una investigación con estudiantes de bachillerato en un colegio de Bogotá, Colombia, para la enseñanza de la "caída de los cuerpos". Como los mismos autores refieren: "se diseñó, ejecutó y evaluó una secuencia de tres talleres, desde la perspectiva de la investigación acción, con el fin de contribuir al desarrollo del pensamiento físico matemático a través de la integración progresiva de un abordaje fenomenológico, la observabilidad de los sistemas y la modelación, en la cual se integra el uso de Python". Sus resultados indican un tránsito en las explicaciones de los estudiantes hacia explicaciones más estructuradas, evidenciando que el uso de Python constituye una alternativa eficaz para transformar la enseñanza de la física mediante la implementación de su diseño didáctico.

La tercera parte tiene por nombre: *Desarrollo de habilidades cognitivas.* El capítulo "Desarrollo del pensamiento crítico en física mediante inteligencia artificial" presenta una investigación enfocada en desarrollar el pensamiento crítico en estudiantes de bachillerato mediante el uso de

inteligencia artificial, como el ChatGPT. En este sentido, Ávila-Garcia realiza un diseño didáctico con actividades teóricas y experimentales, en un estudio cualitativo, para el desarrollo del pensamiento crítico para temas de física moderna, integrando, a su vez, el modelo 5E. Parte de los resultados fueron "que los mayores niveles de pensamiento crítico emergieron durante las fases de elaboración y evaluación del modelo 5E." El segundo capítulo de esta parte se titula: "Aprendiendo principios de la física cuántica con filosofía: valoraciones cualitativas sobre su efecto en el pensamiento crítico". En este, Tuero-O'Donnell Zulaica y Olivo-Montaño presentan los primeros resultados de una investigación enfocada a valorar la evolución del pensamiento crítico en estudiantes de ingeniería para la enseñanza de principios básicos de física cuántica mediante el uso de la reflexión filosófica como estrategia. Los resultados muestran un desarrollo en las habilidades superiores de pensamiento crítico: análisis y síntesis. Finalmente, el capítulo: "Análisis de indicadores indirectos de rendimiento durante actividades específicas usando Emotiv Epoc X" presenta una investigación enfocada al análisis de la actividad cerebral en un estudiante de ingeniería con diagnóstico clínico de Asperger cuando realiza actividades concretas, mediante indicadores de rendimiento, utilizando una neuro herramienta: Emotiv Epoc X. Las actividades diseñadas estimularon procesos cognitivos como el pensamiento racional, la recuperación de información, la memoria de trabajo y la atención. Así, a tenor de Escobar-Moreno y Mayo-Juárez, los resultados muestran "que una actividad desafiante cognitivamente genera mayor interés, en contraste, una actividad tradicional mostró niveles bajos de interés y estrés, reforzando la idea que la pasividad, desde la neurociencia, no emociona al individuo para aprender."

En atención a lo anterior, puede constatarse que el presente libro *Innovaciones y estrategias para el aprendizaje y la enseñanza de la física* ofrece una amplia gama de investigaciones vinculadas a la física educativa, con enfoques innovadores y trascendentes, para todo lector interesado en la disciplina.

ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS

1. Implementing STEAM through Inquiry-Based Learning: A Case Study on Energy in Free Fall in Surinamese Secondary Education

Cindy Leeflang*
César Eduardo Mora Ley**
Carmen del Pilar Suárez Rodríguez***

DOI: https://doi.org/10.52501/cc.399.01

Abstract

This chapter examines a STEAM approach grounded in inquiry-based learning (IBL) to teach energy transformations during free fall in secondary physics, focusing specifically on students' understanding of the energy component in free fall. Conceptually, it addresses the challenge of engaging students in physics in ways that foster deep conceptual understanding, critical thinking, and hands-on problem-solving skills. The chapter situates this challenge within the Surinamese secondary education context, highlighting the potential of integrated STEAM approaches to bridge theoretical knowledge and practical application, while promoting equitable learning opportunities.

We conducted a quasi-experimental study with two first-year classes at Henry N. Hassankhan School (STEAM–IBL n=15; traditional n=13). The intervention consisted of two 45-minute STEAM–IBL lessons combining guided experiments, small-group problem-solving, and arts-

* Maestra en Aprendizaje e Innovación del Instituto de Estudios de Posgrado e Investigación (IGSR). ORCID: https://orcid.org/0009-0004-3527-6442
** Doctor en Física por la Universidad Autónoma Metropolitana (México) y Doctor en Educación por la Universidad de Burgos (España). ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6607-0429
*** Doctora en Ciencias en Física Educativa por el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional (CICATA-IPN). ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4482-8355

integrated reflections, compared to lecture-based instruction in the control group. Learning outcomes were measured with a validated 25-item pre/post-test.

Results indicated that the STEAM–IBL group significantly outperformed the lecture-based group (+2.44 vs. +0.98 on a 0–10 scale), with a notable advantage in linking gravitational potential and kinetic energy to observable situations (paired t, $p < 0.001$; ANOVA $F(1,26)=20.84$, $p < 0.001$). These findings demonstrate that inquiry with low-cost experiments and multiple representations is both feasible and effective in multilingual, resource-constrained settings. Scaling such interventions, however, will require focused teacher professional development, access to simple simulations, and curricular alignment.

Keywords: *STEAM education, Inquiry-Based Learning (IBL), physics education, free fall, energy conservation, secondary education, Suriname.*

1. Introduction

In recent years, the integration of Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics (STEAM) education has become increasingly important for addressing global challenges that demand innovative, adaptive, and problem-solving citizens. While countries with strong education systems have begun embedding STEAM principles into their curricula, many developing nations, including Suriname, are still in the early stages of this transformation. Suriname's secondary education system faces several barriers to meaningful science learning, including limited teacher training in active methodologies, a lack of interdisciplinary approaches, and a curriculum that often prioritizes rote learning over conceptual understanding.

Physics, particularly the topic of energy transformation during free fall, poses additional challenges. Although foundational for understanding mechanics and natural phenomena, the concept of energy remains highly abstract for many students. Misconceptions about potential and kinetic energy, and their interrelation, persist even at the upper secondary level

(Neumann *et al.*, 2013; Pramesti *et al.*, 2019). This calls for innovative teaching methods that go beyond transmission-based instruction.

This chapter presents findings from a case study conducted at the Henry N. Hassankhan School that explores the implementation of a STEAM-IBL instructional strategy grounded in inquiry-based learning (IBL). The intervention, implemented as a STEAM lesson to include artistic representation, investigates whether an integrated approach improves students' conceptual understanding of energy transformations in free fall, while also examining student engagement and teacher perceptions. By combining student-centered pedagogy with interdisciplinary content, the intervention seeks to bridge the gap between theoretical knowledge and real-life application. The chapter situates the study within broader discussions on curriculum innovation in Suriname, offering insights into how STEAM and IBL can support equitable, sustainable improvement in science education across similar educational contexts.

2. Theoretical Framework

This study is grounded in two interrelated theoretical domains: (a) the conceptual understanding of energy transformation in physics education, and (b) inquiry-based learning (IBL) as a pedagogical foundation for STEAM integration. Together, these frameworks support the design and evaluation of an instructional intervention aimed at improving student learning in the context of free fall.

2.1 Physics Education and the Concept of Energy in Free Fall

Energy is a central concept in physics but is often abstract and difficult for students to grasp. Research shows that students hold persistent misconceptions regarding energy conservation and transformation, particularly in dynamic systems such as free fall (Neumann *et al.*, 2013; Pramesti *et al.*, 2019). In free fall, the transformation of gravitational

potential energy into kinetic energy provides a fundamental example of mechanical energy conservation. Yet students frequently struggle to relate these transformations to observable phenomena or to quantify them correctly.

Studies at the secondary education level have shown recurring difficulties in this area. Students often define the system and its environment inadequately when analyzing energy transfer (Gandolfo *et al.*, 2024; Mosquera Lozano *et al.*, 2024), misapply the concepts of work and energy (Mera-Menéndez & López-González, 2023), and maintain the belief that the falling speed depends on the object's mass or shape (Sánchez Moreno *et al.*, 2023). They also tend to omit energy transfer processes in their explanations, limiting their ability to understand conservation comprehensively (Mosquera Lozano *et al.*, 2024). Importantly, these challenges are not restricted to secondary education: research with university students, both in engineering programs and introductory physics courses, confirms that similar misconceptions persist, manifesting as errors in calculating kinetic and potential energy, decontextualized use of formulas, and difficulties in interpreting graphical and geometric representations (Asnawi *et al.*, 2020; Escudero *et al.*, 2017; Aguilar *et al.*, 2007).

Teaching strategies that contextualize energy concepts through experimentation, modeling, and multiple representations have been shown to improve conceptual clarity (Podschuweit & Bernholt, 2018). In Suriname's multilingual and multicultural classrooms, these challenges may be compounded by language barriers and the abstract nature of scientific terminology. Grounding energy instruction in tangible, inquiry-driven activities therefore have the potential to facilitate better learning outcomes.

2.2. STEAM Education and Inquiry-Based Learning

STEAM education promotes the integration of disciplines in meaningful, real-world contexts, rather than teaching these disciplines in isolation (Li *et al.*, 2020). Effective STEAM instruction engages students with complex systems, predictions, data analysis, and design solutions.

These competencies are likewise central to IBL. In IBL, learners actively construct knowledge as they pose questions, conduct investigations, and reflect on outcomes (Pedaste *et al.*, 2015). Such learner-centered approaches have been associated with enhanced engagement, deeper conceptual understanding, and longer-term retention (Schunk, 2012; Huber, 2008).

The intersection between STEAM and IBL lies in their shared emphasis on authenticity, collaboration, and higher-order thinking. Leung (2020) highlights "boundary-crossing" pedagogy, wherein students negotiate meaning across disciplines using models, tools, or simulations as mediators. Similarly, it was found that mediating objects play a crucial role in supporting fluid movement between scientific and mathematical thinking (Hallström *et al.*, 2023; Bartolini, 2012), an essential competency in physics. Combining STEAM and IBL thus creates a learning environment where students engage in practice like those of scientists and engineers. Such environments are especially powerful in promoting equity and relevance in under-resourced educational contexts, as they leverage students' lived experiences as entry points into scientific reasoning (Fullan, 2016).

Grounded in this literature, we adopt a STEAM–IBL approach to teaching energy in free fall that targets persistent misconceptions and connects abstract formalisms to observable phenomena through low-cost experimentation, multiple representations, and brief reflective products. The aim is to deepen conceptual understanding while making learning active and locally meaningful in Surinamese secondary physics classrooms.

3. Methodology

This study employed a mixed-method, quasi-experimental design to compare a STEAM–IBL intervention with lecture-based instruction in two first-year lower-secondary physics classes. The intervention consisted of two 45-minute lessons on energy transformations during free fall, integrating guided experiments, small-group problem solving, and brief

arts-integrated reflections. The comparison group received teacher-centered explanations and textbook practice.

Learning outcomes were assessed using a validated pre/post-test designed to measure students' understanding of energy transformations during free fall.

Quantitative analyses included descriptive statistics, paired-sample t-tests within groups, and a one-way ANOVA to compare post-test scores across groups. Qualitative insights were obtained from a structured teacher reflection, which was analyzed thematically to triangulate the quantitative findings. To ensure rigor and ethical standards, the STEAM teacher completed 18 hours of professional development focused on IBL strategies.

3.1. Participants and Context

The study took place at Henry N. Hassankhan School, a general secondary school in Suriname. Two first-year lower-secondary physics classes participated: a STEAM–IBL section (n = 15) and a comparison class taught with a teacher-centered approach (n = 13). Students were 13–15 years old. Twelve additional students were excluded due to missing parental consent. Both classes followed the national physics curriculum and were taught by experienced physics teachers (different teachers for the two classes)

3.2. Instructional Design

The lesson was co-developed with input from university-level STEAM education experts and reviewed for disciplinary accuracy, pedagogical coherence, attention to diversity, and assessment alignment. Core elements are described in Figure 1.

Figure 1.1

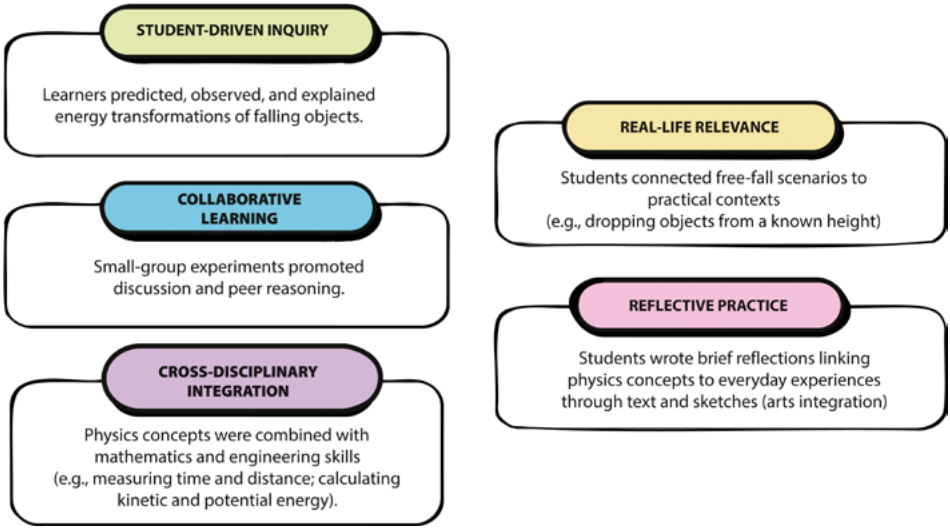


Figure 1. Core design principles of the sequence of two 45-minute STEAM–IBL lesson on free-fall energy and their alignment to assessment constructs.

The control group received conventional lecture-based instruction on the same topic, consisting of verbal explanations, worked examples from the textbook, and individual problem-solving, without experimental or collaborative activities. Prior to the study, the teacher implementing the STEAM approach completed an 18-hour professional development program focused on STEAM.

3.3. Assessment Instrument
Energy Concepts: Instrument design and validation

The assessment instrument consisted of 25 items, including multiple-choice, calculation, and open-ended questions, designed to measure students' understanding of free fall and energy transformations across different cognitive levels of Bloom's taxonomy. It addressed central concepts of

mechanics and energy in the secondary physics curriculum, organized into four thematic areas: (1) gravitational potential energy (dependence on mass and height, energy conservation), (2) kinetic energy and motion (velocity–energy relationships, formulas, and problem-solving), (3) free fall dynamics (acceleration due to gravity, motion without air resistance, conservation of mechanical energy), and (4) energy transformations and applications (conversion between potential and kinetic energy, real-life examples in sports, engineering, and safety). These categories were deliberately mapped to different levels of Bloom's taxonomy, ensuring coverage from factual recall to conceptual understanding, application, analysis, evaluation, and creation.

A pre/post-test format was adopted, with a maximum raw score of 50 points distributed as follows: 19 multiple-choice items worth 1 point each (19 points), 2 numerical problems worth 9 points each (18 points), 3 open-ended reasoning questions worth 3 points each (9 points), and 1 short reflection item linking free fall to everyday life worth 4 points. For grading, raw scores were converted to a 0–10 scale by dividing the total by 5; for example, a raw score of 35 points corresponded to a final grade of 7.0. This normalization ensured comparability across items with different weights, simplified interpretation, and allowed scores to be reported on a standardized scale. A score of 10 indicated mastery of factual knowledge, conceptual understanding, and application of energy concepts in free fall, while lower scores indicated partial understanding or difficulty in applying these concepts to new contexts.

The instrument was reviewed and validated by a panel of subject-matter experts in physics education. For face validity, the reviewers examined the clarity of instructions, readability of items, and overall usability of the test, confirming that it was appropriate for secondary students. For content validity, they evaluated the alignment of items with the physics curriculum, the four thematic areas, and Bloom's taxonomy levels, as well as the plausibility of distractors. Minor suggestions, such as improving wording and avoiding duplicate items, were incorporated into the final version. The expert panel concluded that the instrument was appropriate, reliable, and suitable for assessing students' understanding of energy in free fall.

3.4. Data Collection and Analysis

The pre-test was administered two days before the intervention and the post-test one week after. All assessments were conducted under classroom supervision. Quantitative analyses included descriptive statistics (mean, standard deviation, minimum, and maximum), paired-sample t-tests to examine within-group changes, and a one-way ANOVA to compare post-test scores between groups. Significance was set at $p < 0.05$. Qualitative data were gathered via a structured teacher reflection form covering preparation, classroom execution, observed student responses, and suggested improvements; responses were analyzed thematically to triangulate the quantitative findings.

3.5. Ethical Considerations

Parental consent and student assent were obtained, anonymity was guaranteed, and participation had no effect on students' grades.

4. Research Questions

RQ1. To what extent does a STEAM-IBL intervention improve students' conceptual understanding of energy transformations in free fall compared to traditional instruction?

RQ2. How do the distributions of pre- and post-test scores differ between the STEAM and traditional groups?

RQ3. What teacher-observed processes (engagement, collaboration, use of representations) accompany the intervention, and how do these observations help explain the quantitative results?

Expectation: Based on prior research on IBL and integrated STEAM pedagogy, we anticipated greater mean gains in the STEAM group (Li *et al.*, 2020; Pedaste *et al.*, 2015), with variability patterns explored empirically.

4.1 Student Learning Gains

Both groups improved from pre- to post-test, with the STEAM group showing the larger average gain. Table 1 summarizes mean scores (10-point scale) and average improvements.

Table 1.1 Average test score improvements by group (10-point scale)

Group	*n*	*Mean Pre-Test*	*Mean Post-test*	*Mean Gain*
Traditional	13	2.2	3.2	+1.0
STEAM	15	1.9	4.3	+2.4

To illustrate individual progress, nearly all students in the STEAM group improved, with several showing large gains. In contrast, improvement in the traditional group was less consistent across individuals.

4.2. Descriptive Statistics

A fuller statistical summary (means, standard deviations, and range) appears in Table 2. While both groups improved, the STEAM group exhibited a wider post-test range, suggesting greater individual variation.
Post-test distributions were positively skewed in both groups, indicating that a subset of students performed substantially above their group's central tendency. The STEAM group's higher post-test variance is consistent with the presence of several high-gain learners.

Table 1.2 Descriptive statistics of test scores (10-point scale)

Group	*Test*	*Mean*	*SD*	*Min*	*Max*
STEAM	Pre-test	1.9	0.62	1.0	3.0
STEAM	Post-test	4.3	2.00	2.2	7.8
Group	*Test*	*Mean*	*SD*	*Min*	*Max*
Traditional	Pre-test	2.2	0.61	1.0	3.2
Traditional	Post-test	3.2	1.50	1.6	7.0

4.3. Statistical Testing

Inferential tests corroborated the descriptive findings. A paired-sample t-test showed a statistically significant pre-to-post gain in the STEAM group (p = 0.000016), while gains in the traditional group did not reach significance (p = 0.06176). A one-way ANOVA comparing post-test scores across groups yielded a significant effect, $F(1, 26) = 20.84$, $p < 0.001$, indicating a clear advantage for the STEAM-IBL instruction. The effectiveness of this approach was evaluated by comparing pre-test and post-test scores of students in the STEAM group and the traditional group.

Table 1.3 Comparison of results in the two groups

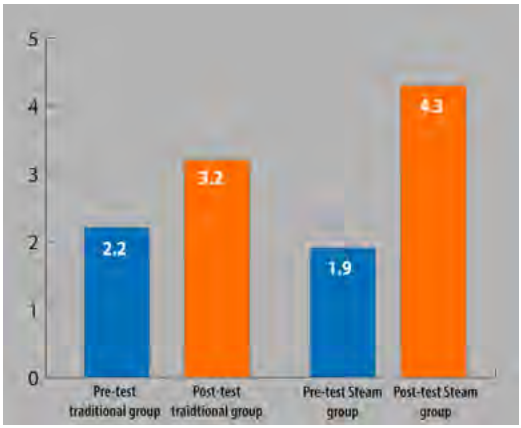
Value	*STEAM Group (n =15)*	*Traditional Group (n =13)*
Pre-test scores	1.0 - 3.0	1 -3.2
Pre-test average	1.89	2.17
Post-test scores	2.2 - 7.8	1.6 - 7.0
Post-test average	4.33	3.15

Table 3 shows the comparative analysis that revealed that students in the STEAM group achieved a substantially greater improvement in their understanding of energy in free fall compared to those in the traditional group. While both groups showed positive changes from pre- to post-test, the STEAM intervention resulted in an average gain of +2.44 points, more than double the +0.98 points observed in the traditional group. This suggests that inquiry-based, hands-on strategies within the STEAM framework not only facilitated higher learning gains but also promoted a deeper conceptual grasp of the topic, whereas the traditional instruction led to more modest improvements.

Table 1.4 Summary Table of Scores

Group	*n*	*Pre-test (Mean ± SD)*	*Post-test (Mean ± SD)*	*Improvement (Mean)*
STEAM Group	$\frac{1}{5}$	1.89 ± 1.62	4.33 ± 1.62	+2.4
Traditional Group	$\frac{1}{3}$	2.17 ± 0.67	3.15 ± 1.61	+0.98

Figure 1.2. Average Scores Comparison – compares the average pre-test and post-test scores between the STEAM and Traditional groups.



Interpretation

The results indicate that students in the STEAM group achieved significantly higher learning gains compared to the traditional group. The substantial increase in post-test scores for the STEAM group suggests that integrating inquiry-based learning with STEAM activities effectively enhanced students' understanding of energy in free fall. In contrast, students in the traditional group showed modest improvement, demonstrating the comparative advantage of the STEAM approach in promoting conceptual learning.

Individual student pre-and post-test scores for each group.

Figure 1.3. Traditional Group–shows each student's pre-test and post-test scores.

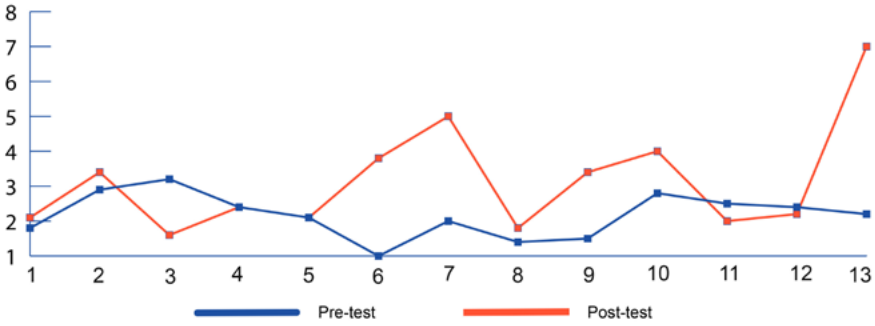
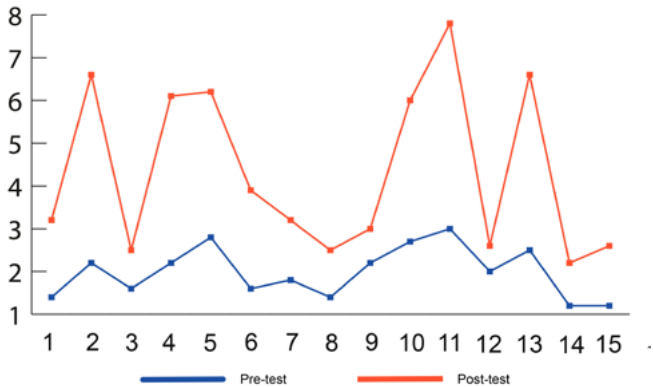


Figure 1.4. STEAM Group–shows each student's pre-test and post-test scores.

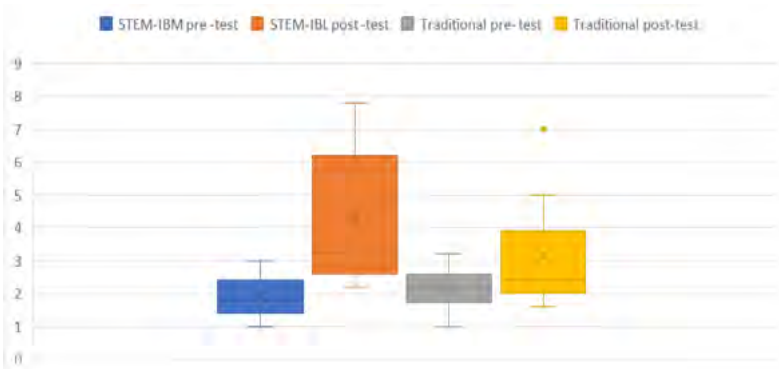


The graphs clearly highlight the improvement in the STEAM group, especially compared to the Traditional group.

4.4. Score Distribution and Variability

The STEAM group's distribution was broader at post-test, with some students achieving large improvements (~3.0 → ~7.8). Large individual gains also occurred in the traditional group (~2.2 → ~7.0); however, these appeared as isolated cases rather than part of a consistent pattern across the group. These patterns suggest that while both approaches can support high achievers, the STEAM intervention yielded more widespread improvement.

Figure 1.5. Boxplot of Pre- and Post-test Scores for STEAM and Traditional Groups.



4.5. Teacher Reflections

The teacher's structured reflection provided qualitative insights that reinforced the quantitative outcomes. A shift in roles was emphasized: *"The teacher is not considered the source of information but as a coach,"* alongside students' enthusiasm: *"They loved the group discussions."* The teacher also identified challenges, particularly *"Time management when it came to group discussion,"* and highlighted the need for technological support: *"If I had access to a simulation, it would have helped visualize the transformation of energy more clearly."*

Overall, the teacher expressed a strong intention to continue using inquiry-based strategies and outlined key conditions for scaling up the approach. These included targeted teacher professional development, access to simple and affordable simulations, and alignment with the existing curriculum to support sustainable implementation in diverse classroom contexts. In terms of broader implications, the study suggests that such approaches are feasible in resource-constrained settings and hold potential for scale-up when these conditions are addressed.

5. Discussion

The findings provide evidence that implementing a STEAM-IBL can enhance students' conceptual understanding of energy transformations during free fall. While both groups improved, the gains in the STEAM group were larger and statistically significant, supporting prior work on inquiry-driven and interdisciplinary teaching (Pedaste *et al.*, 2015; Li e*t al.*, 2020).

A notable difference between groups concerns the consistency of improvement. The STEAM group showed broader participation in learning gains, whereas the traditional group displayed uneven progress, with a few students achieving substantial increases and several showing minimal change. Large individual gains occurred in both groups, but in the STEAM group they were embedded within a wider pattern of growth. This suggests that, relative to traditional instruction, a STEAM–IBL approach may offer a more equitable platform for learning across a heterogeneous class.

The teacher's reflections reinforce these interpretations. A shift from knowledge transmission to facilitation coincided with increased student questioning, hands-on measurement, and meaningful connections between equations and actions, mechanisms known to promote conceptual change (Podschuweit, S., Bernholt, S.; Schunk, 2012). Challenges, time management and limited access to technology, indicate the need for instructional scaffolds (structured roles, timing protocols) and resources (simulations) to support all learners. These insights align with arguments that sustainable educational change requires coherence among pedagogy, resources, and teacher learning (Fullan, 2016).

The broader post-test variance in the STEAM group suggests differentiated impacts. Differences in prior knowledge, readiness for collaborative inquiry, or comfort with experimentation likely contributed to variability (Neumann *et al.*, 2013). Future iterations should incorporate tiered supports (worked examples, sentence starters for explanations, targeted mini-lessons) and structured collaboration to ensure that students with lower prior knowledge benefit as fully as their peers. From a Surinamese perspective, where curricula remain largely traditional and exam-oriented, this case study demonstrates that even a single, well-designed STEAM-IBL lesson can produce measurable learning benefits and richer engagement. Scaling will require investments in teacher professional development, curricular materials, and technologies that enable modeling and visualization.

Finally, the study contributes to international evidence that inquiry-based STEAM education can be effective in under-resourced contexts when thoughtfully adapted to local realities (Hallström *et al.*, 2023; Leung, 2020; Bartolini, 2012). It shows that student-centered, interdisciplinary teaching can be viable and impactful in multilingual classrooms, provided teachers are supported with time, training, and tools.

6. Conclusions

This study investigated the impact of a STEAM-IBL instructional strategy on students' understanding of energy transformations during free fall in Surinamese secondary education. The STEAM group achieved significantly

greater learning gains than the traditional group, alongside positive shifts in engagement and participation. Teacher reflections corroborated these outcomes, highlighting increased student agency and the value of hands-on measurement and multiple representations.

An important pattern concerned equity: the STEAM intervention produced broader gains across the class, whereas the traditional approach yielded uneven outcomes shaped by a few high-gain individuals. At the same time, variability within the STEAM group indicates that some learners require additional scaffolding, particularly those less accustomed to inquiry or with lower prior knowledge. Practical challenges (group management, limited technology) underscore the necessity of sustained teacher support.

Despite these constraints, the study represents a pioneering attempt to integrate STEAM and IBL into physics education in Suriname. The results suggest that such approaches can address persistent misconceptions about energy while making physics more meaningful. To scale these benefits, future efforts should prioritize teacher professional development, curriculum innovation, and access to appropriate learning technologies (simulations and data-collection tools). These steps are crucial for preparing Surinamese students to meet the demands of a rapidly changing, knowledge-based world.

Ethical Statement

The authors declare that, in preparing this manuscript, digital tools such as Grammarly Premium (for spelling, grammar, and style corrections) and ChatGPT (OpenAI) (for writing suggestions and support in structuring ideas) were used. These tools served solely as linguistic and clarity aids, under the authors' supervision and critical judgment.

At no point did these tools replace the intellectual work, interpretation of results, or scientific analysis; all content decisions, discussions, and interpretations were conducted by the authors.

References

Aguilar, S., Maturano Arrabal, C. I., & Núñez, G. (2007). Utilización de imágenes para la detección de concepciones alternativas: Un estudio exploratorio con estudiantes universitarios. Revista de Enseñanza de la Física, 20(1), 45–56.

Asnawi, N., Seprapti, A. I., Haqqo, A., Fitriyah, A. L., Kusairi, S., & Parno, P. (2020). Pemahaman konsep dan kesulitan belajar mahasiswa: Studi lintas semester pada materi usaha energi. Jurnal Ilmiah Pendidikan Lingkungan dan Pembangunan, 21(1), 33–45. https://doi.org/10.21009/plpb.211.03

Bartolini Bussi, M. G., Corni, F., Mariani, C., & Falcade, R. (2012). Semiotic mediation in mathematics and physics classrooms: Artifacts and signs after a Vygotskian approach. Electronic Journal for Research in Science & Mathematics Education, 16(3). https://ejrsme.icrsme.com/article/view/7392

Escudero, C., Jaime, E., & Jardines González, S. B. (2017). Un estudio sobre situaciones problemáticas como herramientas de aprendizaje significativo en física. Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias, 12(2), 50–64. https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFyN/article/view/16665

Fullan, M. (2016). The new meaning of educational change (5th ed.). Teachers College Press.

Gandolfo, N., Buteler, L., & Guisasola, J. (2024). Razonamiento de los estudiantes al abordar fenómenos de transferencia y transformación de la energía en el contexto de la mecánica. Revista de Enseñanza de la Física, 36(1), 35–52. https://doi.org/10.55767/2451.6007.v36.n.47238

Hallström, J., Norström, P. & Schönborn, K.J. Authentic STEM education through modelling: an international Delphi study. IJ STEM Ed 10, 62 (2023). https://doi.org/10.1186/s40594-023-00453-4

Huber, G. L. (2008). Active learning and methods of teaching. Revista de Educación, 347, 15–30. https://www.researchgate.net/publication/298952325_Active_learning_and_methods_of_teaching

Leung, A. (2020). Boundary crossing pedagogy in STEM education. International Journal of STEM Education, 7(1), Article 15. https://doi.org/10.1186/s40594-020-00212-9

Li, Y., Wang, K., Xiao, Y., & Froyd, J. E. (2020). Research and trends in STEM education: A systematic review of journal publications. International Journal of STEM Education, 7(1), Article 11. https://doi.org/10.1186/s40594-020-00213-8

Mera-Menéndez, J. R., & López-González, W. O. (2023). Simuladores PhET: Una herramienta didáctica para el mejoramiento del rendimiento académico de estudiantes en energía mecánica. MQRInvestigar, 7(4), 112–130. https://doi.org/10.56048/mqr20225.7.4.2023.112-130

Mosquera Lozano, E., Idoyaga, I. J., & Londoño Villamil, G. (2024). Energy apprenticeship in high school students: Questionnaires validation. Scientia et Technica, 29(1), 65–76. https://doi.org/10.22517/23447214.25175

Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J., & Fischer, H. E. (2013). Towards a learning progression of energy. Journal of Research in Science Teaching, 50(2), 162–188. https://doi.org/10.1002/tea.21061

Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. Educational Research Review, 14, 47–61. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003

Podschuweit, S., Bernholt, S. (2018) Composition-Effects of Context-based Learning Opportunities on Students' Understanding of Energy. Res Sci Educ 48, 717–752. https://doi.org/10.1007/s11165-016-9585-z

Pramesti, Y. S., Mahmudi, H., & Setyowidodo, I. (2019). Analyzing Students' understanding of work–energy concepts. Journal of Physics: Conference Series, 1157(3), 032033. doi:10.1088/1742-6596/1521/2/022016

Sánchez Moreno, A., Aguilera Terrats, J. R., Martínez Briones, C., & Jaimes Moreno, O. (2023). Propuesta para la enseñanza de la caída de los graves. Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación, 8(3), 145–160. https://doi.org/10.33262/rmc.v8i3.2308

Schunk, D. H. (2012). Learning theories: An educational perspective (6th ed.). Pearson.

2. Análisis conceptual de la cinemática del movimiento de proyectiles a través de simuladores PhET

Edgar Alejandro Camacho Medina*
Francisco Ramos Brito**
Jesús Alberto Flores Cruz***
Mario Humberto Ramírez Díaz****

DOI: https://doi.org/10.52501/cc.399.02

Resumen

En el presente capítulo se explora el uso de los simuladores como una alternativa para analizar conceptos físicos relacionados a la cinemática del movimiento de proyectiles, esto con la finalidad de promover en los estudiantes la identificación de dichos conceptos para que puedan relacionarlos con los fenómenos que se desarrollan en su entorno, comprendiendo las variables físicas involucradas, haciéndolos capaces de determinar cómo se interrelacionan también dichas variables entre sí. También se busca que a través de las ecuaciones de movimiento sean capaces de resolver problemáticas relacionadas con este tema de manera adecuada. Para desarrollar este proyecto, se diseñó una secuencia didáctica que hace uso de las simulaciones PhET para el análisis del

* Doctorante en Ciencias en Física Educativa en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional (CICATA-IPN). ORCID: https://orcid.org/0009-0006-9428-536X

** Doctor en Ciencia e Ingeniería de Materiales por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). ORCID: 0000-0001-6355-1895

*** Doctor en Ingeniería de Sistemas. Profesor en el Posgrado en Física Educativa del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7816-4134

**** Doctor en Ciencias en Física Educativa. Profesor en el Posgrado en Física Educativa del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA), unidad Legaria, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3459-2927

movimiento de proyectiles. La motivación de esta investigación se basa en la detección del bajo rendimiento académico en la unidad referente a cinemática en el curso de física en una institución privada de la Dirección General de Bachillerato, contrastando los resultados previos con los arrojados después de la implementación de la herramienta diseñada. Esto dejó ver resultados favorables de manera inmediata. Al analizar los resultados, se encontró que, en general, el 75 % de los estudiantes evaluados logró superar el promedio establecido desde el pasado en el desempeño en la unidad referente a cinemática. De esos estudiantes, el 97 % identifica correctamente el movimiento de proyectiles en la naturaleza, el 63 % identifica correctamente las magnitudes físicas involucradas en este movimiento y las que juegan un papel importante y el 47 % de los estudiantes aplica correctamente las ecuaciones para la resolución de problemas.

Palabras clave: *cinemática, conceptos, movimiento de proyectiles, PhET, simulaciones.*

Introducción

El estudio del movimiento de proyectiles es de interés en áreas como la ingeniería aeronáutica, la ingeniería aeroespacial, la geología, la meteorología, etc. Esto se observa en numerosos fenómenos cotidianos, como el lanzamiento de objetos o el tiro de una pelota, sin embargo, se ha observado un gran número de dificultades cuando se abordan conceptos relacionados con este tipo de movimiento (Obispo *et al.*, 2011) en comparación con los conceptos de movimiento unidimensional. El uso de los simuladores PhET representa una oportunidad de interactuar con un laboratorio computacional en el cual se puede experimentar y minimizar los obstáculos que el abordaje de estos conceptos conllevan (Karanggulimu *et al.*, 2017), promoviendo, además, abordar de manera efectiva las concepciones conceptuales erróneas (Fongsamut *et al.*, 2022) y el desarrollo de las habilidades de pensamiento de orden superior (Muliyati *et al.*, 2021) mismas que incluyen el crear, analizar, evaluar, aplicar y entender (González Murillo *et al.*, 2017). Es por ello que es crucial desarrollar estrategias innovadoras que incluyan herramientas como estos simuladores, ya que fomentan el pensamiento analítico de

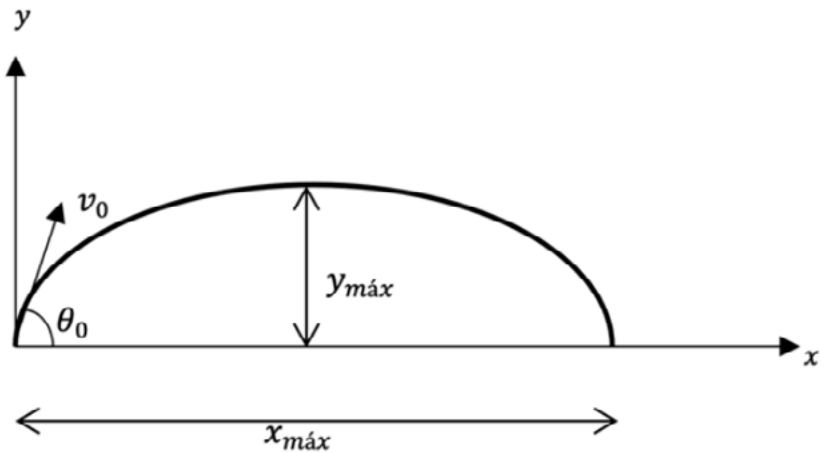
los estudiantes siguiendo las pautas de la Educación 4.0 (Tuhusula *et al.*, 2020). A diferencia de investigaciones contextualizadas en áreas similares, como la de Camelo (2020) que explora el uso de simuladores PhET para el movimiento de proyectiles para mejorar el aprendizaje significativo enfocándose en el apoyo al profesor, o la de Castrejón Parga *et al.* (2023) que lo hacen a través de clases interactivas demostrativas, o la de Zambrano-Cedeño y Alexander (2024) que utilizan los simuladores PhET para ilustrar los conceptos de posición, velocidad y aceleración a través de los distintos tipos de movimiento, en este trabajo se presenta una secuencia didáctica diseñada con la finalidad de crear la conexión entre los principios físicos de la cinemática del movimiento de proyectiles y los fenómenos que se desarrollan en el entorno. Se busca identificar cómo las variables físicas del movimiento y la interacción entre ellas afectan las trayectorias propias del movimiento de proyectiles y, mediante las ecuaciones que rigen este movimiento, resolver problemáticas relacionadas a este movimiento. Para determinar si existen diferencias importantes al aplicar la estrategia de la mano del simulador del movimiento de proyectiles se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿de qué forma promueve mejoras el uso de simuladores PhET en la adquisición conceptual de la cinemática del movimiento de proyectiles? Para lo cual también se plantearon las hipótesis de investigación y la hipótesis nula. H: el uso del simulador permite a los estudiantes obtener una ganancia conceptual significativa que se refleja en la calificación del post-test en comparación con el pre-test. H0: el uso del simulador no permite a los estudiantes obtener una ganancia conceptual significativa que se refleja en la calificación del post-test en comparación con el pre-test.

Marco teórico

Cinemática del movimiento de proyectiles

Según Young (2013), la combinación de las trayectorias del movimiento rectilíneo uniforme y la caída libre dan como resultado la característica trayectoria parabólica que describe los cuerpos en el movimiento de proyectiles (Figura 1).

Figura 2.*1 Geometría del movimiento de proyectiles. Fuente: elaboración propia.*



Al ignorar la fricción del aire, la aceleración a_x es nula, mientras que la aceleración vertical a_y será *-g* , es decir, la aceleración de la gravedad apuntando hacia el centro de la Tierra.

$$a_x = 0$$
$$a_y = -g$$

Como la velocidad horizontal v_x es constante, su magnitud solo dependerá del ángulo inicial de lanzamiento θ_0 no depende del tiempo, ya que ésta será igual en cualquier instante.

$$v_x = v_0 \cos \theta_0 \qquad (1)$$

Por otro lado, la velocidad vertical v_y va a ir cambiando respecto al tiempo, ya que existe una aceleración vertical *−g* por lo que la parte fija está definida por el ángulo de lanzamiento θ_0 y la parte variable la aceleración de la gravedad g respecto al tiempo *t*.

$$v_y = v_0 \operatorname{sen}\theta_0 - gt \qquad (2)$$

Para encontrar la posición horizontal x en la que se encuentra el proyectil, es necesario conocer la velocidad horizontal definida en (1) y el instante de tiempo en el que se encuentra.

$$x = v_0 \,.\, \cos\theta_0 \,.\, t \qquad (3)$$

Para la posición vertical *y* es necesario conocer la magnitud de la velocidad inicial v_0, el ángulo de lanzamiento θ_0, la aceleración gravitatoria *g* y el instante de tiempo *t*.

$$y = v_0 \,.\, \operatorname{sen}\theta_0 \,.\, t - \frac{1}{2}gt^2 \qquad (4)$$

Si no conocemos el instante de tiempo *t* en el que se encuentra el objeto en estudio, pero conocemos la posición horizontal x, podemos conocer la posición vertical y del proyectil.

$$y = x \,.\, \tan\theta - \frac{gx^2}{2v_0^2\cos^2\theta} \qquad (5)$$

Para encontrar el alcance horizontal máximo al lanzar proyectil, necesitamos la magnitud de la velocidad inicial v_0 y el ángulo de lanzamiento θ_0

$$x_{máx} = \frac{v_0^2 \operatorname{sen}(2\theta_0)}{g} \qquad (6)$$

Para encontrar la altura máxima que alcanzará el proyectil, necesitamos conocer la magnitud de la velocidad inicial v_0 y el ángulo de lanzamiento θ_0.

$$y_{máx} = \frac{v_0^2(\text{sen}\theta_0)^2}{g} \qquad (7)$$

Para conocer el tiempo que dura el proyectil en el aire, podemos partir de la ecuación (4) donde, al transcurrir el tiempo total de vuelo, el objeto regresará al suelo, y podemos definir la altura y como cero, entonces, al despejar *t* podemos expresar el tiempo de vuelo t_v como:

$$t_v = \frac{2_{v0}\text{sen}\theta_0}{g} \qquad (8)$$

Si conocemos las componentes vertical y horizontal de la velocidad v_x y v_y en el instante inicial, podemos obtener la velocidad inicial v_0, mediante el Teorema de Pitágoras:

$$v_0^2 = v_x^2 + v_y^2 \qquad (9)$$

Los simuladores PhET

Los simuladores de tecnología para física educativa PhET (*Physics Education Technology*, por sus siglas en inglés) se crearon con base en el abordaje científico de la investigación como una oportunidad para explorar conceptos básicos y cuestionar, corregir y ampliar la comprensión del funcionamiento del mundo. Un buen diseño de simulación de fenómenos físicos centrado en conceptos básicos promueve la comprensión de dichos conceptos a través de la exploración y la manipulación de parámetros de su interfaz, con un enfoque similar al que tendría un científico durante un experimento, lo cual contrasta con la forma tradicional de aprender ciencia (Wieman *et al.*, 2008). A pesar

de las ventajas que ofrece el uso de los simuladores en la enseñanza de las ciencias, no debemos olvidar que, para explotar adecuadamente su potencial, estos deben seguir formando parte de un diseño didáctico global dirigido oportunamente por diversos investigadores (Karanggulimu *et al.*, 2017; Perkins *et al.*, 2006; Wieman *et al.*, 2010). En el caso del actual trabajo, se presentará más adelante un diseño didáctico, el cual incluye los simuladores PhET como una herramienta de apoyo.

Desarrollo

Diseño del experimento

La metodología desarrollada se construyó bajo un diseño cuasiexperimental debido a que no se contó con las condiciones para generar una muestra aleatoria en los grupos de tratamiento. Se diseñó una evaluación diagnóstica (pre-test) y, posterior al desarrollo e implementación de una secuencia didáctica, se aplicó una evaluación final (post-test). Además, se utilizó el valor estadístico de prueba t de Student para realizar la prueba de hipótesis y así aceptar o rechazar la hipótesis de investigación (Davis y Mukamal, 2006; Enrique y Freire, 2013).

Muestra

Se empleó una técnica de muestreo no probabilístico o muestra intencionada cuyo tamaño fue de 8 estudiantes con una edad que oscila entre los 16 y 17 años, de los cuales 25 % son mujeres y el 75 % son hombres. Esto se debió a la disponibilidad de los estudiantes para participar y el tamaño de los grupos con que se contó en el instituto donde se realizó el experimento. Para este caso en particular N=8. Los estudiantes pertenecen a una institución privada de nivel bachillerato ubicada en la ciudad de Culiacán Sinaloa, México, y cuya currícula se basa en los programas de estudio de la Dirección General de Bachillerato (DGB).

Secuencia didáctica

La secuencia didáctica planteada se conforma de 7 sesiones con una duración de 50 minutos cada una. Los objetivos específicos que rigen la secuencia didáctica diseñada para abordar el tema de cinemática del movimiento de proyectiles empleando simuladores PhET se cita a continuación junto con la secuencia didáctica presentada de forma resumida (Tabla 1.1):

Tabla 2.*1 Secuencia didáctica. Fuente: elaboración propia.*

Sesión	***Actividades***	***Duración***	***Objetivo***
1	a) Prueba diagnóstica b) Mesa de análisis c) Actividad 1 (Tarea)	20 min. 30 min. n/a.	Desarrollar la capacidad en el estudiante para identificar visualmente el movimiento en tiro parabólico de manera natural, así como en laboratorio y campo.
2	d) Discusión grupal e) Proyección video f) Quiz g) Cierre	25 min. 5 min. 10 min. 10 min.	Promover en el estudiante la identificación de las magnitudes físicas de aceleración, gravedad, velocidad inicial, masa, coeficiente de arrastre, ángulo de elevación y tiempo, como aquellas que caracterizan al movimiento de proyectiles sin considerar la resistencia del aire.
3	h) Manejo de la simulación. i) Actividad 2 (Tarea)	50 min. 20 min.	Lograr la comprensión de la relación que existe entre las variables de aceleración, velocidad inicial, masa, ángulo de tiro y tiempo.
4	j) Nube de ideas k) Mesa de análisis l) Uso de Simulador	10 min. 20 min. 20 min.	Lograr la comprensión de la relación que existe entre las variables de aceleración, velocidad inicial, masa, ángulo de tiro y tiempo.
5	m) Deducción de las ecuaciones n) Resolver ejercicio	30 min. 20 min.	Identificar las ecuaciones que rigen el movimiento de proyectiles, partiendo de las ecuaciones de movimiento unidimensional e ignorando la resistencia del aire.
6	o) Resolver ejercicios p) Actividad 3 (Tarea)	50 min. n/a.	Aplicar las ecuaciones que rigen el movimiento de proyectiles, ignorando la resistencia del aire.
7	q) Evaluación	50 min.	Evaluar el aprendizaje obtenido durante el desarrollo de la secuencia didáctica.

Fuente: elaboración propia.

El instrumento de evaluación diagnóstica (pre-test) consistió en una prueba de 4 ítems que reflejan situaciones realistas de cuerpos que describen trayectorias parabólicas para evaluar la noción de los conceptos de inercia, velocidad de lanzamiento, alcance horizontal y altura máxima alcanzada por el proyectil (ver Figuras 2a, 2b y 2c).

Figuras 2a., *2b y 2c. Ejemplos de ítems en el instrumento diagnóstico del movimiento de un proyectil. Fuente: elaboración propia*

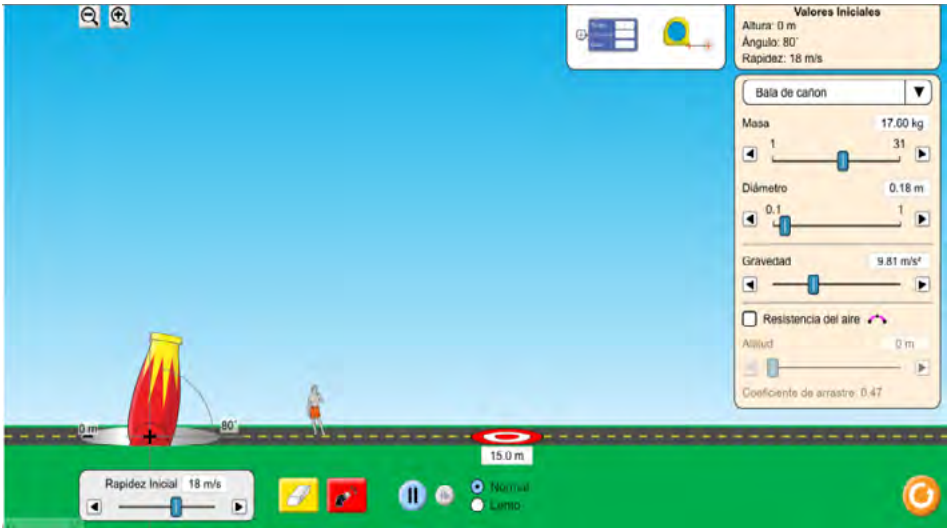
(2a) (2b) (2c)

Fuente: elaboración propia

Para evaluar la confiabilidad de los ítems del instrumento de evaluación se utilizó el estadístico *K* de Kuder-Richardson (Dressel, 1940; Feldt, 1965). Al analizar los ítems del instrumento de evaluación se obtuvo una *K*=0.70, por lo que consideramos una confiabilidad del 70 %. Por otro lado, la actividad desarrollada en la nube de ideas permitió a los estudiantes participar y visualizar en tiempo real, a través de la plataforma Mentimeter, situaciones planteadas por ellos mismos que, según su criterio, forman parte de la cinemática del movimiento de proyectiles. Las mesas de análisis y discusiones grupales fueron dirigidas por el profesor y permitieron generar un ambiente de discusión y análisis específico de cada fenómeno físico, promoviendo la participación de los estudiantes y otorgándoles retroalimentación. Para la elección del video proyectado para complementar las actividades realizadas en clase y en simulador, se elaboró una rúbrica a través de la escala de Likert de 4 puntos, y se eligió un elemento de una muestra total de 9 videos encontrados en la plataforma Youtube. Dentro de las actividades de la secuencia didáctica presentada, los estudiantes hicieron uso de un simulador para el análisis de la cinemática del movimiento de proyectiles. Para ello, emplearon el laboratorio del simulador de movimiento llamado "Movimiento de un Proyectil", el cual se encuentra en el sitio web de PhET[1] (Figura 2.3).

[1] Sitio web del simulador PhET "Movimiento de un proyectil": https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion_all.html?locale=es

Figura 2.3. *Interfaz del simulador de movimiento de proyectiles.*



Algunas de las preguntas rectoras que se emplearon en la evaluación para analizar el movimiento a través de este simulador fueron las siguientes: ¿Qué ocurre con el proyectil cuando cambiamos el ángulo de tiro? Para lanzamientos donde el ángulo se mantiene fijo, ¿existe alguna diferencia en el comportamiento del proyectil cuando se considera la resistencia del aire respecto a cuándo no se hace?, ¿con qué ángulo el proyectil tendrá un alcance horizontal máximo y con cuál tendrá un alcance vertical máximo? Mismas que se presentaron en la evaluación post-test como también en los ítems presentados en el pre-test. Esta actividad permitió a los estudiantes realizar tiros de prueba y analizar el cambio de trayectorias y la relación entre las variables involucradas en el movimiento de proyectiles (ángulo de tiro θ_0, velocidad inicial v_0, aceleración g, coeficiente de arrastre c_d, alcance máximo horizontal $x_{máx}$, altura máxima $y_{máx}$ y tiempo de vuelo t_v) al variar los distintos parámetros que ofrece la simulación. Posteriormente, los estudiantes computaron los datos a través de las ecuaciones que rigen al movimiento de proyectiles para comprobar los resultados arrojados por la simulación.

Resultados y discusión

Posterior a las actividades desarrolladas, y a través del uso del simulador PhET, se observó que en el 97 % de las situaciones cotidianas planteadas por los estudiantes, estos identificaron correctamente, y de manera natural, el movimiento de proyectiles, ya que, de 34 fenómenos mencionados por ellos, solamente uno que relacionaba el movimiento del agua al salir de un grifo se consideró inadecuado y se mencionó que se podía relacionar mejor con un movimiento rectilíneo acelerado o caída libre. También se observó que el 63 % del grupo identificó adecuadamente las magnitudes físicas relacionadas a este movimiento (aceleración, gravedad, velocidad inicial, masa, ángulo de elevación y tiempo) y la relación que existe entre ellas, ya que fue el porcentaje que respondió correctamente las preguntas relacionadas a la manipulación de estas variables; el 47 % del grupo identificó las ecuaciones que describen al movimiento de proyectiles, partiendo de las ecuaciones generales de movimiento y las aplicó correctamente en la resolución de problemas. El 57 % desarrolló la capacidad de resolver un problema usando modelos y planteamientos analíticos. Adicional a esto, el simulador de movimiento de proyectiles ofreció la oportunidad de manipular la variable de coeficiente de arrastre, lo cual permitió a los estudiantes experimentar la posibilidad de generar un tiro en movimiento parabólico más apegado a la trayectoria que describe un cuerpo en la realidad y haciendo una comparativa con las trayectorias en las cuales se desprecia la fricción por el rozamiento del aire (Tablas 1.2 y 1.3).

Tabla 2.*2. Análisis del movimiento de proyectiles con variación del ángulo, considerando Cd=0.*

θ_0 °	v_0 $\left(\frac{m}{s}\right)$	g $\left(\frac{m}{s^2}\right)$	C_d	$x_{máx}$ (m)	$y_{máx}$ (m)	t_v (s)
0	18	9.81	0	0	0	0
30	18	9.81	0	28.60	4.13	1.83
45	18	9.81	0	33.03	8.26	2.59
60	18	9.81	0	28.60	12.38	3.18
90	18	9.81	0	0	16.51	3.67

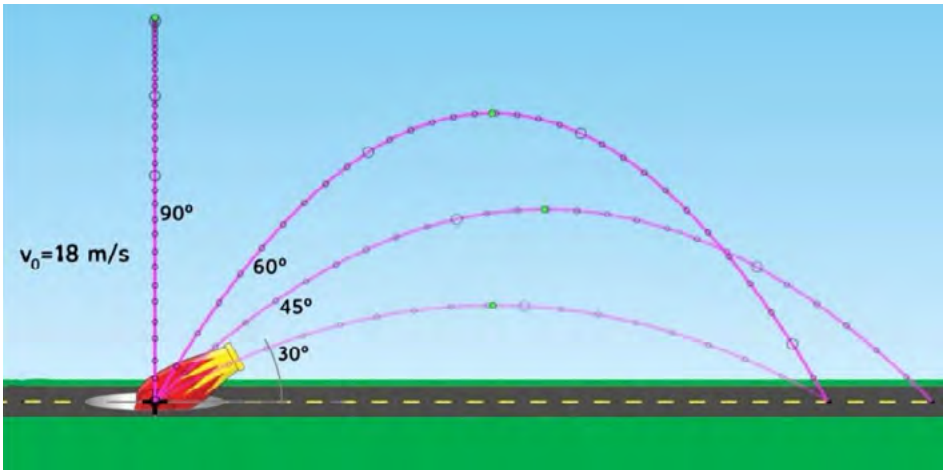
A través de la comparación entre las tablas 1.2 y 1.3 los estudiantes pudieron observar ligeras diferencias en los alcances máximos horizontal y vertical al considerar o no el coeficiente de arrastre, ya que, debido a este mismo, los objetos no son capaces de llegar tan lejos. Gracias al uso del simulador, el 87.5 % de la muestra identificó la influencia del coeficiente de arrastre en este tipo de movimiento y su relación con la geometría del proyectil.

Tabla 2.3. *Análisis del movimiento de proyectiles con variación del ángulo, considerando Cd≠0*

θ_0 $(°)$	v_0 $\left(\frac{m}{s}\right)$	g $\left(\frac{m}{s^2}\right)$	c_d	$x_{máx}$ (m)	$y_{máx}$ (m)	t_v (s)
0	18	9.81	0.47	0	0	0
30	18	9.81	0.47	28.36	4.11	1.83
45	18	9.81	0.47	32.67	8.21	2.59
60	18	9.81	0.47	28.27	12.30	3.17
90	18	9.81	0.47	0	16.40	3.66

A través de la evaluación final, y posterior al uso del simulador, se observó que el 100 % de los estudiantes comprendió que, al emplear un ángulo de tiro $\theta_0 = 45°$, se obtiene el alcance horizontal máximo y con un ángulo de lanzamiento $\theta_0 = 90°$ se obtiene el alcance vertical máximo debido a que se desarrolla un tiro vertical (Figura 2.4).

Figura 2.4



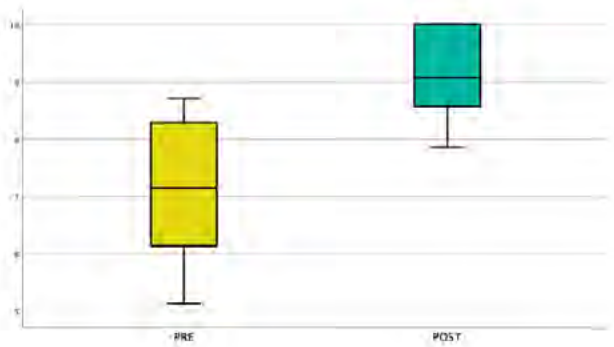
En la siguiente tabla (Tabla 2.4) se muestran las puntuaciones promedio del pre-test y post-test para cada uno de los participantes del experimento (E1-E8), así como la diferencia de puntuación y porcentaje de ganancia. Además, en la gráfica (Figura 2.5) se muestra una comparativa acumulada entre los resultados del pre-test y post-test.

Tabla 2.4. *Puntuaciones en el pre-test y post-test.*

Estudiante	*Pre-test*	*Post-test*	*dif*	*%*
E1	7.86	10.00	2.14	27.27
E2	8.29	8.86	0.57	6.90
E3	8.71	8.57	-0.14	-1.64
E4	6.14	9.29	3.14	51.16
E5	5.14	10.00	4.86	94.44
E6	6.14	7.86	1.71	27.91
E7	6.43	8.57	2.14	33.33
E8	8.29	10.00	1.71	20.69
	7.13	**9.14**	**2.02**	**28.32**

Se puede observar que, a excepción del estudiante E3, la totalidad de la muestra presentó un incremento en el promedio de la calificación del post-test en comparación con el pre-test, siendo este incremento promedio del 28.32 %, donde E5 fue el que presentó un mayor incremento, teniendo 4.86 puntos de diferencia y E3 fue el más bajo, presentando un decremento de 0.14 puntos.

Figura 2.5. *Comparación de resultados de pre-test y post-test.*



Se determinó para la muestra N=8, y a través del software estadístico SPSS, el valor de prueba t de Student con un intervalo de confianza 1-α=95 % (ver Tabla 1.5).

Tabla 2.5. *Estadístico de prueba t Student.*

	N	$\bar{X}$	σ	t	α	t crítico $t_{(1-\frac{2}{a})(n_1+n_2-2)}$	p
Pre-test	8	7.13	1.23	-3.69	0.05	2.14	0.002
Post-test	8	9.14	0.76				

*p<0.05

Como el valor t crítico es mayor que el valor de prueba (t=-3.69), y además el valor p es menor que el criterio de significancia α (p<0.05), podemos decir que la hipótesis nula H_0 se rechaza, por lo que se acepta la hipótesis de investigación (Leenen, 2012). Esto nos permite identificar que la integración de la estrategia didáctica planteada en este trabajo, haciendo uso de los simuladores PhET para el desarrollo de conceptos físicos relacionados a la cinemática del movimiento de proyectiles, es significativa, además de los resultados analizados a través de la estadística descriptiva anteriormente mencionada.

Conclusiones

El diseño de la prueba permitió identificar que algunas de las carencias en temas anteriores correspondientes al movimiento unidimensional, al álgebra y a la trigonometría resultan ser factores clave que dificultan la enseñanza y el aprendizaje del movimiento de proyectiles. Asimismo, comprender que el movimiento de proyectiles es un movimiento bidimensional, que resulta de la combinación de un movimiento rectilíneo uniforme horizontal y un movimiento rectilíneo uniforme acelerado vertical y resolución de problemas de aplicación, resultaron ser las dificultades más comunes que el alumno presenta al desarrollarse el tema de movimiento de proyectiles. Por otro lado, en repetidos casos,

cuando en los reactivos correspondientes a problemas de aplicación que involucraban el manejo de alguna ecuación, los estudiantes computaban los resultados sin escribir la ecuación o la empleaban de forma incorrecta, por lo que la secuencia didáctica no promueve este aspecto en la resolución de problemas. Atendiendo la pregunta de investigación planteada: ¿de qué forma promueve mejoras en la adquisición conceptual de la cinemática del movimiento de proyectiles el uso de simuladores PhET? Podemos concluir que la secuencia didáctica que se planteó durante este trabajo, la cuál hace uso de las simulaciones PhET, promueve mejoras en la adquisición conceptual de la cinemática del movimiento de proyectiles a través de la manipulación en tiempo real de las variables físicas. Esto permitió identificar la relación entre variables, además, la interacción con la interfaz gráfica permitió visualizar las trayectorias parabólicas y la lectura de datos sin necesidad de realizar operaciones matemáticas, lo que ofreció la oportunidad de hacer comparativas entre los datos presentados por el simulador y los obtenidos por los estudiantes al emplear las ecuaciones de cinemática. Finalmente, se demostró, a través de un instrumento estadístico y rechazando la hipótesis nula H_0, que la implementación de la secuencia didáctica presentada, misma que emplea simuladores PhET, promueve, de manera significativa, la apropiación de conceptos físicos relacionados a la cinemática del movimiento de proyectiles en estudiantes de nivel medio superior.

Créditos

Los resultados presentados en este capítulo fueron posibles gracias al apoyo del Gobierno de México, a través del Instituto Politécnico Nacional, mediante el Programa de Proyectos de Investigación del Programa Especial de
Consolidación de Investigadores, a través del proyecto SIP20241158.

Referencias

Camelo, T. (2020). Incorporación del simulador PhET para fortalecer el aprendizaje significativo del movimiento parabólico en física del grado décimo. Universidad de Santander UDES. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125798%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.smr.2020.02.002%0Ahttp://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/810049%0Ahttp://doi.wiley.com/10.1002/anie.197505391%0Ahttp://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857090409500205%0Ahttp:

Castrejón Parga, K. Y., Sáenz Villela, J. M., Lara Pérez, E. S., & López Tavares, D. B. (2023). Implementación de Hojas de Actividades y Clases Interactivas Demostrativas con Simulaciones PhET en Física Conceptual. Cultura Científica y Tecnológica, 20(3). https://doi.org/10.20983/culcyt.2023.3.2e.3

Davis, R. B., & Mukamal, K. J. (2006). Hypothesis testing: Means. Circulation, 114(10), 1078–1082. https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.586461

Dressel, P. L. (1940). Some remarks on the kuder-richardson reliability coefficient. Psychometrika, 5(4), 305–310. https://doi.org/10.1007/BF02287978

Enrique, E., y Freire, E. (2013). Endive. An A-Z of Food and Drink, 16(1), 122–139. https://doi.org/10.1093/acref/9780192803511.013.0454

Feldt, L. S. (1965). The approximate sampling distribution of Kuder-Richardson reliability coefficient twenty. Psychometrika, 30(3), 357–370. https://doi.org/10.1007/BF02289499

Fongsamut, K., Tanasittikosol, M., y Phaksunchai, M. (2022). Effectiveness of the simulation-based learning (SBL) assisted with scaffolding approach to address students' misconceptions about projectile motion. Physics Education, 58.

González Murillo, L. A., Cárdenas Galindo, J. A., y Arellano González, J. C. (2017). Desarrollo de Habilidades Del Pensamiento de Orden Superior a Través de Actividades de Desempeño. Revista Electrónica ANFEI Digital, 6, 1–9. https://www.anfei.mx/revista/index.php/revista/article/viewFile/360/1002%0Ahttps://anfei.mx/revista/index.php/revista/article/viewFile/360/1002#:~:text=El pensamiento de orden superior,López %26 Whittington%2C 2014).

Karanggulimu, L., Sudjito, D. N., y Noviandini, D. (2017). Desain Modul Praktikum Mandiri Tentang Gerak Parabola Menggunakan Simulasi PhET "Projectile Motion". Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Sains, 212–214.

Leenen, I. (2012). La prueba de la hipótesis nula y sus alternativas : revisión de algunas críticas y su relevancia para las ciencias médicas. 1(4), 225–234.

Muliyati, D., Nurindrasari, M., y Rustana, C. E. (2021). ProSim"-Designing projectile motion worksheet to support higher-order thinking skill. AIP Conference Proceedings, 2320(March). https://doi.org/10.1063/5.0037482

Obispo, K. C., Yap, K. D., y Yap, J. M. (2011). The Use of Interactive Simulation in Teaching Science 9: Projectile Motion. 50–54. http://phet.colorado.edu.

Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., Wieman, C., y LeMaster, R.

(2006). PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics. The Physics Teacher, 44(1), 18–23. https://doi.org/10.1119/1.2150754

Tuhusula, T. S., Pattana, B., Randai, E., Wateriri, D. R., y Walukow, A. F. (2020). Eksperimen Mengginakan Virtual Lab Berbasis PhET Simulation dalam Pembelajaran Fisika pada Materi Gerak Parabola. Jurnal Pendidikan FIS, 9(2), 128–135. https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/jpf/article/download/20783/pdf

Wieman, C. E., Adams, W. K., Loeblein, P., y Perkins, K. K. (2010). Teaching Physics Using PhET Simulations. The Physics Teacher, 48(4), 225–227. https://doi.org/10.1119/1.3361987

Wieman, C. E., Adams, W. K., y Perkins, K. K. (2008). Physics. PhET: Simulations that enhance learning. Science, 322(5902), 682–683. https://doi.org/10.1126/science.1161948

Young, H. D. (2013). Sears & Zemansky Física universitaria Vol. 1. In Pearson (Vol. 135, Issue 4).

Zambrano-Cedeño, I., y Alexander, A. (2024). Recursos digitales para el refuerzo pedagógico en contenidos de la asignatura de física Resumen. 8(4), 87–106.

3. Estado del conocimiento sobre la gamificación como metodología activa en la enseñanza de la programación para ciencias: plataforma Classcraft

Abraham Hi Rivera*
Jesús Alberto Flores Cruz**
Anahi Alcázar Guzmán***

DOI: https://doi.org/10.52501/cc.399.03

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo analizar el estado del conocimiento sobre la gamificación como metodología activa en el proceso de enseñanza-aprendizaje, con un enfoque en la plataforma Classcraft. La temporalidad que se tomó en cuenta para la revisión sistemática de la literatura fue el primer trimestre de 2025 en bases de datos académicas como Scopus, Redalyc, SciELO, ERIC, SpringerLink, EBSCO y Google Académico. Asimismo, se consideraron estudios publicados entre 2010 y 2024 bajo los criterios de inclusión en su título, resumen o palabras clave los términos "gamificación", "Classcraft", "metodología activa" y "aprendizaje basado en juegos". En total se incluyeron 39 estudios relevantes. Los resultados relevantes indican que la mayoría de las investigaciones se concentran en el nivel educativo superior y son de enfoque cualitativo. Los elementos de la gamificación incluyen recompensas, narrativa, desafíos y retroalimentación inmediata. Se identificaron beneficios como el aumento de la motivación estudiantil,

* Doctorante en Tecnología Educativa por el Centro Educativo Mar de Cortés, México. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-5997-5450
** Doctor en Ingeniería de Sistemas por el Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7816-4134
*** Doctorante en Ciencias en Física Educativa, del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8008-4579

la mejora del rendimiento académico, el desarrollo de competencias como el trabajo colaborativo y el pensamiento crítico, así como una mejor gestión docente. En conclusión, la plataforma Classcraft destaca por su capacidad para integrar estos elementos de manera estructurada, favoreciendo la participación y el compromiso del alumnado, sin embargo, también se detectaron vacíos sobre la evaluación del impacto a largo plazo y la sostenibilidad de la motivación.

Palabras clave: *gamificación, Classcraft, enseñanza activa, motivación, programación.*

1. Introducción

El aprendizaje en las universidades hoy en día es una competencia para estudiantes de ciencias e ingenierías, especialmente por su relación directa con la innovación tecnológica y la automatización de procesos (Pérez-Torres y García-Peñalvo, 2021). Sin embargo, enseñar estas disciplinas presenta ciertos desafíos: contenidos abstractos, baja percepción de aplicabilidad y una dificultad creciente que puede mermar la motivación y el rendimiento académico de los estudiantes (Domínguez y Ochoa, 2023). Es por ello que ha sido necesario buscar estrategias didácticas más innovadoras que permitan hacer la enseñanza más atractiva y significativa. Una de las metodologías activas que ha ganado terreno en los últimos años es la gamificación, que consiste en integrar dinámicas propias del juego como retos, recompensas o niveles en entornos educativos con la intención de aumentar el compromiso y la motivación del alumnado (Deterding *et al.*, 2011; Hamari *et al.*, 2019). Su aplicación ha demostrado ser útil, no solo para mejorar el rendimiento académico, sino también para fomentar habilidades como el pensamiento crítico, la colaboración y la autonomía, particularmente en asignaturas complejas (Romero-Rodríguez *et al.*, 2022).

Según Hamari *et al.* (2014), Domínguez *et al.* (2013) afirman en su estudio que, al promover emociones positivas, un sentido de logro y la autonomía, la gamificación contribuye al aprendizaje y a la permanencia estudiantil, pues tiene un efecto positivo en áreas como la programación. Esto coincide con Su y

Cheng, (2015), por lo que, a grandes rasgos, la plataforma Classcraft ha nacido como una de las plataformas más utilizadas puesto que se basa en la lógica de los juegos de rol, así, convierte la dinámica del aula en una experiencia colaborativa, incentivando competencias como la resiliencia, la responsabilidad y la toma de decisiones (Fernández-Vara *et al.*, 2021; Montaño, Castillo y Alfaro, 2020). Su versatilidad ha motivado una serie de investigaciones que analizan su impacto en la participación, la motivación y el desarrollo de habilidades blandas (Alsawaier, 2018; Camacho y Esteve, 2019). Por ello, esta investigación se propuso realizar una revisión sistemática de literatura publicada entre 2010 y 2024, centrada en estudios que abordan la gamificación como estrategia de enseñanza, particularmente mediante plataformas como Classcraft. La finalidad fue identificar tendencias, retos y aportes clave que sirvan como base para futuras propuestas educativas innovadoras.

2. Revisión teórica

La enseñanza de la programación presenta algunas dificultades, mayormente concentradas en la estructura lógica y la resolución de problemas en entornos poco intuitivos, como lo mencionan García-Peñalvo y Mendes (2018), quienes destacan que uno de los principales obstáculos para los estudiantes es que no logran vincular los fundamentos teóricos y su aplicación en la vida real. Esta brecha dificulta su aprendizaje, principalmente cuando se utiliza una metodología tradicional basada únicamente en el dominio de lenguajes y algoritmos. Asimismo, en el campo de la física se presentan dificultades en donde los alumnos se enfrentan a desafíos al momento de aplicar conceptos complejos a fenómenos observables como, por ejemplo, el que menciona McDermott (1991), específicamente en la transición de la formulación matemática y su representación en contextos experimentales. Por otro lado, visto desde el enfoque pedagógico como el que proponen Moreno *et al.* (2020), se apertura al uso de ejercicios interactivos que facilitan el aprendizaje a los estudiantes, desarrollando habilidades de aplicabilidad de conceptos en la práctica.

Por su parte, Wieman *et al.* (2010) plantean esté vínculo en el campo de la física a través de entornos de aprendizaje activos que integran simulacio-

nes computacionales, así como la modelación y la resolución de problemas cuantitativos coadyuvado por la programación. Por su parte, Wieman *et al.* (2010) plantean esté vínculo en el campo de la física a través de entornos de aprendizaje activos que integran simulaciones computacionales, así como la modelación y la resolución de problemas cuantitativos coadyuvado por la programación. Por otro lado, Wing (2006) plantea el concepto de *pensamiento computacional* como una competencia e introduce el pensamiento como una competencia transversal que estructura la resolución de problemas complejos a través de la descomposición, la abstracción y la automatización, trasladando esta afirmación al campo de la física. Estas habilidades han sido empleadas para modelar procesos dinámicos, como el movimiento de partículas, el análisis de circuitos eléctricos o la propagación de ondas, a través de lenguajes de programación como Python o MATLAB que se mencionan en Caballero *et al.* (2012). Asimismo, el crecimiento de la sociedad digital ha generado una demanda cada vez mayor de habilidades de programación, coincidiendo con Grover y Pea (2013), quienes plantean que esta enseñanza no debe limitarse a niveles técnicos, favoreciendo una comprensión más operativa de las leyes físicas.

Dicho lo anterior, la gamificación nace como una estrategia de innovación que busca transformar la experiencia educativa, como la integración de elementos del juego en contextos no lúdicos, lo cual tiene un efecto positivo en la motivación, el compromiso y la participación del estudiante como lo mencionan Deterding *et al.* (2011). Asimismo, Kapp (2012) afirma que esta estrategia promueve el establecimiento de metas claras, la retroalimentación inmediata y también desafíos graduados. Además, las plataformas como Scratch o CodeCombat han logrado introducir el aprendizaje de la programación en ambientes interactivos que, además de enseñar contenido técnico, promueven habilidades sociales y colaborativas (Barata *et al.*, 2017). Por lo tanto, para trascender a otros campos, se asume que en el área de la física también estos elementos enlistados anteriormente se han empleado en actividades de enseñanza gamificadas y orientadas a la experimentación virtual, el diseño de simulaciones y la solución de problemas. Por poner un ejemplo, está el uso de interfaces visuales o la programación, lo cual ha permitido representar interacciones físicas complejas de forma controlada (Perkins *et al.*, 2006).

Estos entornos permiten adaptar el ritmo del aprendizaje a las necesidades individuales del alumno, favoreciendo una comprensión más profunda y la estandarización del conocimiento en las áreas de las ingenierías.

Hamari *et al.* (2014) afirman que un diseño inadecuado de las dinámicas lúdicas puede restar efectividad si se prioriza el entretenimiento sobre los objetivos educativos, además de que la motivación puede decaer si no hay una renovación constante de los desafíos.

En ambientes en donde se hace uso de la gamificación, la motivación se vuelve un componente central. A diferencia de la enseñanza tradicional, donde los estudiantes pueden desconectarse al percibir el contenido como ajeno o difícil, la gamificación introduce sistemas de recompensas, niveles y desafíos que fomentan la motivación intrínseca, es decir, aquella que se genera por la satisfacción personal al aprender (Ryan y Deci, 2000). Este tipo de motivación se ha vinculado con la variable de desempeño académico, ya que los estudiantes son más perseverantes, comprometidos y dispuestos a dedicar tiempo a sus tareas (Seaborn y Fels, 2015). Además, al permitirles repetir actividades y recibir retroalimentación continua, se fortalece el sentido de competencia personal.

En plataformas gamificadas, los elementos narrativos y la colaboración entre estudiantes fortalecen también el sentido de comunidad y pertenencia, aspecto que Toda *et al.* (2019) consideran clave para mejorar la motivación y el rendimiento académico. Esto es particularmente relevante en áreas complejas como la programación, pues la interacción social facilita la comprensión de los contenidos, al tiempo que impulsa el desarrollo de habilidades como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y el trabajo en equipo (Seaborn y Fels, 2015).

3. Métodos

Durante el primer trimestre de 2025 se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura en diferentes bases de datos académicas: Scopus, Redalyc, SciELO, ERIC, SpringerLink, EBSCO y Google Académico. La selección de los repositorios respondió al criterio de incluir tanto literatura internacional como regional que abordara experiencias, estudios o reflexiones en torno a la gamificación como metodología activa en contextos educativos. Como

parte del proceso, también se revisaron revistas especializadas en educación y tecnología como *Computers & Education*, Revista Iberoamericana de Educación, RED. Revista de Educación a Distancia y Education and Information Technologies. Los documentos considerados para el análisis fueron aquellos publicados entre los años 2010 y 2024, los cuales deben presentar en el título, resumen y/o palabras clave y/o sintaxis los siguientes términos: "gamificación", "gamification", "Classcraft", "enseñanza activa", "motivación en el aula", "aprendizaje basado en juegos" y "metodologías activas".

Estos términos fueron utilizados como filtros de búsqueda usando AND/OR para afirmar que el tema realmente describiera las variables de interés en esta investigación. Asimismo, se utilizaron los siguientes criterios de inclusión: estudios que abordaran la gamificación desde un enfoque pedagógico, investigaciones que discutieran o analizaran el impacto de Classcraft o plataformas similares en procesos de enseñanza-aprendizaje y, por último, textos con una estructura académica completa (objetivos, metodología, resultados y discusión). Se excluyeron trabajos que sólo hicieran una mención superficial a la gamificación o que la trataran únicamente como tendencia tecnológica, sin contar con un desarrollo conceptual o metodológico. Se incluyeron en este documento aquellos textos que incorporaron una discusión en el cuerpo del estudio de los elementos previamente mencionados, puesto que, en algunos casos, la gamificación no era el tema principal, aunque estaba presente como parte de las palabras clave. Finalmente, de un total de 184 documentos que se encontraron durante la primer fase, solo se seleccionaron 39 documentos, los cuales, una vez filtrados y analizados en el texto completo, se organizaron de tal manera que la información se registró en una tabla de contenido bibliográfico con categorías específicas que se enlistan a continuación: autor, año, país, nivel educativo, tipo de metodología, ya fuera cuantitativa, cualitativa y/o mixta, y también se tomó en cuenta el área disciplinar, además de la plataforma utilizada, ya sea Classcraft o similares. Dentro de la clasificación se ordenaron los documentos por su objetivo y principales hallazgos.

Hernández, Fernández y Baptista (2014) afirman que los estudios cualitativos se orientan a estudiar los fenómenos desde la perspectiva de los actores, mientras que los cuantitativos analizan las relaciones de las variables a través de métricas y estadísticas, y los mixtos son los que integran ambas

visiones para tener una visión más amplia del objeto del estudio. Lo anterior se retomó para clasificar los estudios analizados según su enfoque metodológico. Este proceso no sólo permitió sistematizar la producción científica más relevante sobre gamificación en contextos educativos, sino que también contribuyó a detectar vacíos de investigación, especialmente en lo relativo a la evaluación de resultados a largo plazo y a la implementación estructurada de plataformas como Classcraft en programas académicos formales.

4. Resultados

Del total de 39 documentos seleccionados, se sistematizaron tres grandes dimensiones en las que se agrupan estos indicadores: pedagógica, tecnológica y motivacional. Se consideró la frecuencia con la que los autores abordaron ciertos temas en relación con los efectos de la gamificación en los procesos de enseñanza-aprendizaje, así como los elementos específicos utilizados para su implementación. La dimensión pedagógica incluye aspectos como la mejora en el rendimiento académico, la adquisición de competencias específicas, la interacción entre docentes y estudiantes, y la adaptación del contenido mediante elementos lúdicos. Por su parte, la dimensión tecnológica considera las plataformas utilizadas (por ejemplo, Classcraft), el acceso a dispositivos, la infraestructura y la integración de sistemas digitales en el aula y, por último, la dimensión motivacional agrupa variables relacionadas con la participación, el interés, la recompensa simbólica, el compromiso y la autoeficacia percibida, lo que se puede observar en la tabla 1.

Tabla 3.*1. Categorías e indicadores de gamificación educativa identificados en la literatura*

Dimensión	***Indicadores***
Pedagógica	Mejora del rendimiento académico, desarrollo de competencias, aprendizaje significativo, interacción docente-estudiante, personalización del contenido.
Tecnológica	Uso de plataformas (Classcraft, Kahoot, Quizizz), acceso digital, conectividad, integración con sistemas educativos.
Motivacional	Participación activa, compromiso, motivación intrínseca, recompensa, autoestima académica.

Fuente: elaboración propia con base en Alsawaier (2018), Hamari *et al*. (2014), Dicheva *et al*. (2015) y Fernández-Vara *et al*. (2021).

Los estudios revisados fueron organizados en diversas categorías para analizar el estado actual de la investigación sobre la gamificación en el ámbito educativo.

Alcance geográfico

En cuanto al alcance geográfico, los estudios se distribuyen entre contextos locales e internacionales. Un 61.5 % (24 estudios) se concentraron en contextos nacionales específicos, como México, España, Ecuador y Colombia, mientras que el 38.5 % (15 estudios) se enfocaron en comparaciones internacionales, abarcando experiencias de gamificación en varios países. Esta distribución sugiere que hay una tendencia a realizar estudios más centrados en contextos locales, aunque los estudios internacionales permiten identificar tendencias comunes en la implementación de la gamificación.

Nivel educativo

Los estudios analizados cubren diferentes niveles educativos. De los 39 estudios, el 56.4 % (22 estudios) se centraron en la educación superior, mientras que un 23.1 % (9 estudios) trató sobre la educación media superior. El 20.5 % (8 estudios) restante se enfoca en la educación básica. Esta distribución refleja la mayor atención prestada a la gamificación en el nivel superior, lo que puede estar vinculado a la mayor flexibilidad curricular que suele existir en estos niveles.

Metodología utilizada

Respecto a los enfoques metodológicos, se encontró que el 51.3 % (20 estudios) adoptaron un enfoque cualitativo, lo que indica un interés por explorar las experiencias y las percepciones de los actores educativos involucrados en el proceso de gamificación. El 30.8 % (12 estudios) empleó métodos cuantitativos, mientras que el 17.9 % (7 estudios) utilizó metodologías mixtas, combinando tanto enfoques cualitativos como cuantitativos. Este patrón muestra un predominio de las metodologías cualitativas para profundizar en la comprensión del fenómeno.

Plataforma utilizada

En relación con las plataformas utilizadas, un 46.1% (18 estudios) mencionaron herramientas gamificadas estructuradas como Classcraft, Kahoot, Duolingo y Quizizz. Sin embargo, el 53.9% (21 estudios) implementaron estrategias gamificadas creadas por los propios docentes o instituciones sin recurrir a plataformas específicas, lo que refleja una considerable autonomía en el diseño y la implementación de estas estrategias.

Tabla 3.2. *Características generales de los estudios sobre gamificación educativa*

Autor/Año	***País***	***Nivel Educativo***	***Metodología***	***Plataforma Utilizada***
Alonso-García *et al. (2021)*	España	Superior	Mixta	Classcraft
Alsawaier (2018)	Arabia Saudita	Superior	Cuantitativa	Genérica
Amezcua y Amezcua (2018)	Ecuador	Superior	Cuantitativa	Múltiples
Ángulo (2022)	México	Media superior	Mixta	Classcraft
Arana (2019)	México	Superior	Mixta	Múltiples
Artopoulos y Huarte (2022)	Argentina	Básica	Cualitativa	Genérica
Cabezas Pozo y Heredia Castillo (2024)	Ecuador	Superior	Cuantitativa	Classcraft
Castañeda-Ramírez, Castro-López, Bohórquez-Espinel y Ruiz-Vélez (2022)	México	Superior	Cuantitativa	Quizizz
Castelo-Cabay *et al* (2023)	Colombia	Básica	Cuantitativa	Kahoot
Cladera Estelich (2022)	España	Básica	Cuantitativa	Genérica
Delgado *et al*. (2021)	México	Básica	Cualitativa	Classcraft
Dicheva *et al*. (2015)	EE. UU.	Superior	Mixta	Múltiples
Escudero (2024)	Ecuador	Superior	Cualitativa	Múltiples
Fernández, Santos y Quirós (2020)	México	Superior	Cuantitativa	Kahoot
Fernández-Vara *et al*. (2021)	Costa Rica	Media superior	Cualitativa	Classcraft
Ferriz (2019)	España	Media superior	Mixta	Classcraft
García-López, Ruiz y Acosta (2023)	México	Superior	Cuantitativa	Classcraft
Gendler, M. A., y Moiraghi, S. (2024)	Argentina	Superior	Cualitativa	Genérica
González-Morga, González-Lorente, Martínez-Clares, y Pérez-Cusó, J. (2024)	Costa Rica	Media superior	Cuantitativa	Kahoot

Hernández-Durán, Torres-Barreto, y Acuña-Rangel (2021)	Colombia	Superior	Cuantitativa	Classcraft
Higueras Fernández e Hidalgo Navarrete (2024)	España	Superior	Cuantitativa	Classcraft
Laura-De La Cruz, y Tolentino-Cotrina (2022)	Perú	Superior	Mixta	Quizizz
López, Catalán, Ibáñez, González, López, Silva y Celis (2021)	Chile	Media superior	Mixta	Múltiples
Lozada-Ávila, y Betancour-Gómez (2017).	Colombia	Superior	Cualitativa	Múltiples
Martínez Sánchez (2025)	España	Superior	Cuantitativa	Classcraft
Montaño *et al.* (2020)	México	Superior	Cualitativa	Genérica
Mora y Camacho (2019)	España	Básica	Cuantitativa	Classcraft
Moreno Reyes, Mondragón Beltrán y Peña Vargas (2021)	México	Básica	Cualitativa	Kahoot
Nivela-Cornejo, Otero-Agreda y Morales-Caguana (2021)	Ecuador	Superior	Cuantitativa	Genérica
Novelo Castilla (2023)	México	Superior	Cuantitativa	Classcraft
Olivo García, Moreno Beltrán y Mondragón (2023)	México	Superior	Cuantitativa	Plataforma propia
Paucar Ñacata, Chalco López., Mina Lastra, y Arizala Campo (2023)	Ecuador	Media superior	Cualitativa	Múltiples
Puerta (2024)	Colombia	Superior	Cualitativa	Classcraft
Quintero (2022)	México	Media superior	Cualitativa	Kahoot
Ramírez-Caraguay, Bastidas-Alava y Ordoñez-Vivero (2024)	Ecuador	Media superior	Cualitativa	Quizizz
Roa, Sánchez Sánchez, y Sánchez Sánchez (2021)	España	Básica	Cuantitativa	Múltiples
Robles Gonzales, Salamanca y Laura De La Cruz (2022)	Chile	Media superior	Mixta	Quizizz
Ruiz, Martínez, García, Pedrosa y Licerán (2019)	España	Superior	Cualitativa	Kahoot
Silva Alvarado y Herrera Navas (2022)	Ecuador	Media superior	Mixta	Kahoot
Silva Alvarado y Herrera Navas (2022)	Ecuador	Superior	Mixta	Kahoot
Vergara, Mezquita y Gómez-Vallecillo (2019)	España	Superior	Cualitativa	Quizizz
Zhagui-Brito, García-Herrera y Guevara-Vizcaíno (2022)	Ecuador	Superior	Mixta	Genérica

Fuente: elaboración propia con base a los estudios seleccionados para la investigación.

En cuanto al área disciplinar, un 41 % (16 estudios) se centró en la enseñanza de la programación y disciplinas tecnológicas relacionadas, seguido por un 33.3 % (13 estudios) que abordaron asignaturas STEM (ciencia,

tecnología, ingeniería y matemáticas). El 25.7 % (10 estudios) restante se enfocó en áreas no relacionadas directamente con la tecnología, como humanidades, ciencias sociales y educación, lo que demuestra que la gamificación está ganando terreno en una amplia gama de campos académicos. En términos de tipo de publicación, la mayoría de los estudios (69.2 %, 27 estudios) fueron artículos académicos arbitrados, lo que subraya la tendencia de difundir la investigación sobre gamificación en revistas científicas. También se encontraron 7 capítulos de libros (17.9 %), 3 ponencias en congresos (7.6%) y 2 tesis de posgrado (5.1 %).

5. Conclusiones

De los 39 estudios revisados sobre el uso de la gamificación en la enseñanza de la programación se permiten identificar hallazgos relevantes respecto a su impacto en el aula que pueden adaptarse de igual manera en la enseñanza de la física. En primer lugar, la mayoría de los trabajos se concentran en la motivación estudiantil, resaltando la utilidad de elementos lúdicos como puntos, insignias, niveles y recompensas para incrementar el interés y la participación del alumnado, para clarificar el conocimiento en áreas de ingeniería. Este punto coincide con lo planteado por Deterding *et al.* (2011) y Werbach y Hunter (2012), quienes afirman que estos recursos son clave para captar la atención de los estudiantes y sostener su compromiso con el aprendizaje.

Los estudios hacen énfasis en que la gamificación fortalece competencias como el pensamiento crítico, la autonomía y el trabajo en equipo, lo cual coincide con enfrentar espacios prácticos con implicaciones conceptuales como la solución de problemas a través de las simulaciones, como se presenta en el estudio de la física. En este sentido, plataformas como Classcraft han sido especialmente valoradas por su capacidad para facilitar este tipo de habilidades en el entorno educativo, como lo mencionan Montaño *et al.* (2020) quienes coinciden con Alsawaier (2018). También se observa que la gamificación permea de forma positiva en el clima del aula, puesto que promueve la interacción y la colaboración entre pares, tal como lo han señalado Camacho y Esteve (2019) y Fernández-Vara *et al.* (2021), en donde se resalta el bienestar emocional del alumno. Sin embargo, para que la ga-

mificación tenga efectos en el aprendizaje de la física o de alguna otra ingeniería, su incorporación requiere un diseño pedagógico que contemple la integración funcional de los elementos lúdicos con los propósitos formativos establecidos. De igual manera, se resalta que es necesaria la capacitación dirigida al docente en temas de uso adecuado de técnicas y herramientas como la plataforma Classcraft, de lo contrario, esta se vería limitada en su potencial pedagógico. Dentro de la clasificación de alcance geográfico, se encontró que la mayor parte de las investigaciones se desarrollan en países como México, España, Ecuador y Colombia, todas en nivel superior y media superior, surgiendo así un vacío por explorar en otros niveles educativos y regiones menos estudiadas. Asimismo, se observa que los enfoques metodológicos más usados en este tipo de temáticas de investigación es el cualitativo, por lo que se sugiere que en los próximos estudios se incorporen métodos mixtos para extender la comprensión del uso de la gamificación en la enseñanza en áreas de ingeniería.

Finalmente, los resultados reflejan que el uso de la gamificación incide en la participación de los estudiantes en clase, pero también ayuda a adquirir competencias específicas del área, sin embargo, para lograr tal incidencia se requiere de la intervención de una planificación de estructura docente direccionados a los objetivos en materia de enseñanza.

Créditos

Los resultados presentados en este capítulo fueron posibles gracias al apoyo del Gobierno de México, a través del Instituto Politécnico Nacional, mediante el Programa de Proyectos de Investigación del Programa Especial de Consolidación de Investigadores, a través del proyecto SIP 20241158.

Referencias

Alonso-García, S., Martínez-Domingo, J. A., Berral-Ortiz, B., y De la Cruz-Campos, J. C. (2021). Gamificación en educación superior. Revisión de experiencias realizadas en España en los últimos años. Hachetetepé. Revista científica de educación y

comunicación, 23, 1–21. https://doi.org/10.25267/Hachetetepe.2021.i23.2205

Alsawaier, R. S. (2018). The effect of gamification on motivation and engagement. The International Journal of Information and Learning Technology, 35(1), 56–79. https://doi.org/10.1108/IJILT-02-2017-0009

Amezcua Aguilar, T., y Amezcua Aguilar, P. (2018). La gamificación como estrategia de motivación en el aula. En Á. Torres-Toukoumidis & L. M. Romero-Rodríguez (Eds.), Gamificación en Iberoamérica: Experiencias desde la comunicación y la educación (pp. 137–145). Editorial Universitaria Abya-Yala / Universidad Politécnica Salesiana.

Angulo González, V. (2022). Gamificación, educación media superior y COVID-19: Una intervención a la asignatura de Química I. Éticanet. Revista científica electrónica de Educación y Comunicación en la Sociedad del Conocimiento, 22(2), 351–366. https://doi.org/10.30827/eticanet.v22i2.23692

Arana Romo, M. G. (2019). El fomento de habilidades socioemocionales mediante una metodología gamificada en estudiantes de bachillerato (Trabajo recepcional para obtener el grado de Maestra en Procesos Innovadores). Universidad de Guadalajara. https://riudg.udg.mx/bitstream/20.500.12104/82310/1/MCUALTOS10004FT.pdf

Artopoulos, A., y Huarte, J. (2022). Continuidad educativa durante la pandemia en Argentina: Políticas, pedagogías y plataformas. Revista de Ciencias Sociales, 35(51), 107–130. https://doi.org/10.26489/rvs.v35i51.5

Ayala Escudero, F. I., Hugo Verdugo, M. M., Lopez Peralta, C. A., Morillo Rueda, J. Y., y Doicela Doicela, E. Y. (2024). La gamificación como una herramienta de evaluación estudiantil. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 8(4), 10018–10031. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4

Barata, G., Gama, S., Jorge, J., y Gonçalves, D. (2017). Gamification for smarter learning: Tales from the trenches. Smart Learning Environments, 4(1), 1–23. https://doi.org/10.1186/s40561-017-0041-5

Cabezas Pozo, M. R., y Heredia Castillo, J. A. (2024). La gamificación en el Classcraft para innovar la enseñanza y aprendizaje de la electrotecnia. Revista Scientific, 9(especial), 57-77. https://doi.org/10.29394/scientific.issn.2542-2987.2024.9.e.3.57-77

Castañeda-Ramírez, S., Castro-López, M. V., Bohórquez-Espinel, B. C., y Ruiz-Vélez, L. M. (2022). Análisis del impacto de un aplicativo lúdico digital en la motivación y aprendizaje de estudiantes de educación superior en cursos de matemáticas. PANORAMA, 16(31), 1–15. https://doi.org/10.15765/pnrm.v16i31.3347

Castelo-Cabay, M. J., Buñay-Gualoto, G. I., Merino-Villa, E. F., y Carrillo-Pataron, M. E. (2023). Percepción de la gamificación con Kahoot en estudiantes de institutos de educación superior. Pol. Con. (Edición núm. 85), 8(9), 1529–1549. https://doi.org/10.23857/pc.v8i9.6095

Cladera-Estelrich, V. C. (2022). Gamificación como estrategia didáctica para el aprendizaje de las ecuaciones de 1.er grado en 2.º de Educación Secundaria Obligatoria (Trabajo de maestría). Universidad Internacional de La Rioja. https://reunir.unir.net/handle/ 123456789/13422

Delgado Fernández, J. R., y Chicaiza Taquire, C. D. (2022). Gamificación y herramientas tecnológicas en la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas. Ciencia Latina Revista

Científica Multidisciplinar, 6(6), 1–16. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.2903

Delgado, J., Vásquez, C., y Palacios, A. (2021). Classcraft y la motivación estudiantil en la educación básica. Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa, 20(1), 115–132.

Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., y Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining gamification. Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference, 9–15. https://doi.org/10.1145/2181037.2181040

Dicheva, D., Dichev, C., Agre, G., y Angelova, G. (2015). Gamification in education: A systematic mapping study. Educational Technology & Society, 18(3), 75–88. https://www.researchgate.net/publication/270273830_Gamification_in_Education_A_Systematic_Mapping_Study:contentReference[oaicite:2]{index=2}

Domínguez, C., y Ochoa, L. (2023). Estrategias lúdicas para enseñar programación en educación superior. Revista de Investigación Educativa, 41(1), 22–39.

Fernández, V., Santos, J., y Quirós, L. (2020). Uso de la app Kahoot para cuantificar el grado de atención del alumno en la asignatura de Anatomía Patológica en Medicina y evaluación de la experiencia. Elsevier Educación Médica. https://doi.org/10.1016/j.edumed.2020.01.004

Fernández-Vara, C., Ramos-Sandoval, R., y Córdova, L. (2021). Gamificación en la educación superior: un estudio de caso con la plataforma Classcraft. Revista Electrónica Educare, 25(2), 1–20. https://doi.org/10.15359/ree.25-2.15

Ferriz Valero, A., García Martínez, S., Molina García, N., García Jaén, M., Cejuela Anta, R., Sellés Pérez, S., y Østerlie, O. (2019). Classcraft como herramienta TIC en educación superior: metodologías activas en actividad física en el medio natural. En Memorias del Programa de Redes-I3CE de calidad, innovación e investigación en docencia universitaria (Convocatoria 2018-19, pp. 1039-1050). Universidad de Alicante. https://doi.org/ISBN 978-84-09-15746-4

García-López, I. M., Ruiz Ledesma, E. F., y Acosta Gonzaga, E. (2023). Plataforma Classcraft: Experiencias de uso en estudiantes universitarios. En Uniting Knowledge: Integrated Scientific Research for Global Development (pp. 1–12). https://doi.org/10.56238/uniknowindevolp-011

García-Peñalvo, F. J., y Mendes, A. J. (2018). Exploring the effectiveness of gamification in programming education. ACM Transactions on Computing Education, 18(3), 1–14.

Gendler, M. A., y Moiraghi, S. (2024). Instituciones y plataformas digitales: los espacios de la educación superior en tiempos de pandemia. Revista Latinoamericana de Políticas y Administración de la Educación, 20(8), 236–249. Universidad Nacional de Tres de Febrero. https://doi.org/10.33386/593dp.2024.5.2679

González-Moreno, S. E. y Cortés Montalvo, J. A. (2019). La gamificación en la educación superior mexicana: Un estudio exploratorio. Revista Publicando, 8(31), 165–176. https://doi.org/10.51528/rp.vol8.id2242

González-Morga, N., González-Lorente, C., Martínez-Clares, P., y Pérez-Cusó, J. (2024). Tutoría invertida en educación superior: Satisfacción del alumnado en una experiencia de innovación educativa. Revista Electrónica Educare, 28(1), 1–20. https://doi.org/10.15359/ree.28-1.17280

Grover, S., y Pea, R. (2013). Computational Thinking in K–12: A Review of the State of the Field. Educational Researcher, 42(1), 38–43. https://doi.org/10.3102/0013189X12463051

Hamari, J., Koivisto, J., y Sarsa, H. (2014). Does gamification work? – A literature review of empirical studies on gamification. 47th Hawaii International Conference on System Sciences, 3025–3034. https://doi.org/10.1109/HICSS.2014.377

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill.

Hernández-Durán, N., Torres-Barreto, M. L., y Acuña-Rangel, M. (2021). Classcraft como herramienta gamificada para la enseñanza de integración de procesos con tecnología informática. I+D Revista de Investigaciones, 16(1), 62-74. https://doi.org/10.5555/123456

Higueras Fernández, J. A., e Hidalgo Navarrete, J. (2024). Gamificación en el aula de Ciencias con la utilización de Classcraft como herramienta para su inclusión en las clases. EA, Escuela Abierta, 27, 15–28. https://doi.org/10.29257/EA27.2024.02

Kapp, K. M. (2012). The gamification of learning and instruction: Game-based methods and strategies for training and education. John Wiley & Sons.

Laura-De La Cruz, K. M., y Tolentino-Cotrina, M. P. (2022). Quizizz en el aprendizaje del inglés en estudiantes de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, 2021. Puriq, 4, e298. https://doi.org/10.37073/puriq.4.298

López, M. J., Catalán, X., Ibáñez, A., González, C., López, D., Silva, J., y Celis, S. (2021). Enfoques de aprendizaje, uso de plataformas digitales y desempeño académico en la educación superior [Policy brief]. Núcleo Milenio Experiencia Estudiantil en Educación Superior. https://nmedsup.cl/wp-content/uploads/2021/06/PolicyBrief7-2.pdf:contentReference[oaicite:2]{index=2}

Lozada-Ávila, C., y Betancour-Gómez, S. (2017). La gamificación en la educación superior: una revisión sistemática. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 16(31), 97-124. https://doi.org/10.22395/rium.v16n31a5

Martínez Sánchez, R. (2025). Classcraft: The impact of gamification in higher education. Gamification and Augmented Reality, 3, 100. https://doi.org/10.56294/gr2025100

McDermott, L. C. (1991). Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned—Closing the gap. American Journal of Physics, 59(4), 301–315. https://doi.org/10.1119/1.16539.

Montaño, L., Castillo, M., y Alfaro, J. (2020). La gamificación como estrategia didáctica para el desarrollo de competencias en estudiantes universitarios. Educación y Humanismo, 22(39), 1–17. https://doi.org/10.17081/eduhum.22.39.4071

Mora Márquez, M., y Camacho Torralbo, J. (2019). Classcraft: inglés y juego de roles en el aula de educación primaria. Apertura, 11(1), 52–68. https://doi.org/10.32870/Ap.v11n1.1433

Moreno Reyes, H., Mondragón Beltrán, E. Á., y Peña Vargas, C. S. (2021). Análisis de las experiencias de enseñanza y aprendizaje digitales aplicadas durante la pandemia de COVID-19 en el nivel superior desde el enfoque de las buenas prácticas educativas. IE Revista de Investigación Educativa de la REDIECH, 12, e1257. https://

doi.org/10.33010/ie_rie_rediech.v12i0.1257

Moreno, L., González, C., Castilla, I., González, E., y Sigut, J. (2020). Programming skills development through problem-based learning. Education and Information Technologies, 25(4), 2763–2784. https://doi.org/10.1007/s10639-019-10093-1

Nivela-Cornejo, M. A., Otero-Agreda, O. E., y Morales-Caguana, E. F. (2021). Gamificación en la educación superior. Revista Publicando, 8(31), 165-176. https://doi.org/10.51528/rp.vol8.id2242

Novelo Castilla, M. A. (2023). La gamificación como estrategia activa y pedagógica en el proceso de aprendizaje en un salón de clases de Educación Superior (Memoria de práctica profesional). Universidad Autónoma de Yucatán. https://doi.org/[doi si está disponible]

Olivo García, E., Moreno Beltrán, R., y Mondragón Huerta, R. (2023). Gamificación y aprendizaje ubicuo en la educación superior: aplicando estilos de aprendizaje. *Apertura*, *15*(2), 20–35. https://doi.org/10.32870/Ap.v15n2.2408

Paucar Ñacata, V. P., Chalco López, C. L., Mina Lastra, B. P., y Arizala Campo, R. E. (2023). Impacto de las plataformas digitales en el aprendizaje colaborativo: Análisis de casos y prácticas exitosas. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7(3), 1321–1342. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6275

Pérez-Torres, L., y García-Peñalvo, F. J. (2021). Innovación docente y gamificación para la enseñanza de programación en educación superior. Education in the Knowledge Society, 22, e24763. https://doi.org/10.14201/eks.24763

Puerta Marín, V., Ríos Parra, J. J., Pulgarín León, J., Hincapié Torres, D. C., Ruiz Vélez, L. M., y Castañeda Ramírez, S. (2024). Evaluación de una aplicación construida mediante Classcraft para el aprendizaje de técnicas de integración. PANORAMA, 18(34), 119-152.

Quintero Cevallos, M. E. (2022). Kahoot y su aplicación en actividades de evaluación en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Dominios de las Ciencias, 8(3), 524–538. https://doi.org/10.5281/zenodo.7139412

Ramírez-Caraguay, A. J., Bastidas-Alava, A. E., y Ordoñez-Vivero, R. E. (2024). Herramienta de gamificación Quizizz en el rendimiento académico del estudiante de bachillerato. 593 Digital Publisher CEIT, 9(5), 749–764. https://doi.org/10.33386/593dp.2024.5.2679

Roa González, J., Sánchez Sánchez, A., y Sánchez Sánchez, N. (2021). Evaluación de la implantación de la gamificación como metodología activa en la Educación Secundaria española. REIDOCREA, 10(12), 1–9. https://doi.org/10.30827/Digibug.66357

Robles Gonzales, H. E., Salamanca Chaparro, R. X., y Laura De La Cruz, K. M. (2022). Quizizz y su aplicación en el aprendizaje de los estudiantes de la carrera profesional de idioma extranjero. PURIQ, 4(1), 97. https://doi.org/10.37073/puriq.4.1.239

Romero-Rodríguez, J. M., Ramírez-Montoya, M. S., y Ponce, H. R. (2022). Factores de desmotivación en asignaturas técnicas: Un estudio en estudiantes de ingeniería. REDIE: Revista Electrónica de Investigación Educativa, 24(1), 1–16.

Ruiz, M. C., Martínez, R., García, E., Pedrosa, C., y Licerán, A. (2019, julio). ¿Es divertido

aprender con Kahoot!?: La percepción de los estudiantes. En Actas del Congreso In-Red 2019 (pp. 26–39). Universitat Politècnica de València. https://doi.org/10.4995/INRED2019.2019.10368

Ryan, R. M., y Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. Contemporary Educational Psychology, 25(1), 54–67. https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020

Seaborn, K., y Fels, D. I. (2015). Gamification in theory and action: A survey. International Journal of Human-Computer Studies, 74, 14–31. https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2014.09.006

Silva Alvarado, J. C., y Herrera Navas, C. D. (2022). Estudio de Kahoot como recurso didáctico para innovar los procesos evaluativos pospandemia de básica superior de la Unidad Educativa Iberoamericano. Journal of Economic and Social Science Research, 2(4), 1–15. https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v2/n4/23

Silva Alvarado, J. C., y Herrera Navas, C. D. (2022). Estudio de Kahoot como recurso didáctico para innovar los procesos evaluativos pospandemia de básica superior de la Unidad Educativa Iberoamericano. Journal of Economic and Social Science Research, 2(4), 23. https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v2/n4/23

Su, C. H., y Cheng, C. H. (2015). A mobile gamification learning system for improving the learning motivation and achievements. Journal of Computer Assisted Learning, 31(3), 268–286. https://doi.org/10.1111/jcal.12088

Toda, A. M., Valle, P. H. M., e Isotani, S. (2019). The dark side of gamification: An overview of negative effects of gamification in education. Communications in Computer and Information Science, 1007, 143–156. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15130-0_11

Vergara, D., Mezquita, J., y Gómez-Vallecillo, A. (2019). Metodología innovadora basada en la gamificación educativa: Evaluación tipo test con la herramienta Quizizz. Profesorado. Revista de Currículum y Formación del Profesorado, 23(3), 111–132. https://doi.org/10.30827/profesorado.v23i3.11232

Wieman, C., W. Loeblein, P. Adams, y K. Perkns. (2010) .Teaching physics using PhET simulations. The Physics Teacher 48 (4), 225-227. https://doi.org/10.1119/1.3361987

Wing, J. M. (2006). Computational thinking. Communications of the ACM, 49(3), 33–35. https://doi.org/10.1145/1118178.1118215

Zhagui-Brito, M. N., García-Herrera, D. G., y Guevara-Vizcaíno, C. F. (2022). Gamificación como herramienta activa para la enseñanza de la lengua Kichwa a estudiantes del sistema de Educación Intercultural Bilingüe. 593 Digital Publisher CEIT, 7(3-2), 4–15. https://doi.org/10.33386/593dp.2022.3-2.1185

INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS INMERSIVAS Y COMPUTACIONALES

4. Impacto del aula invertida y la realidad aumentada en la enseñanza del torque en el bachillerato

Juan Carlos Serna*
Jesús Alberto Flores Cruz**
Francisco Aguilar Acevedo***

DOI: https://doi.org/10.52501/cc.399.04

Resumen

Este estudio exploró el impacto de la metodología de aula invertida (AI) complementada con realidad aumentada (RA) en la enseñanza del concepto de torque en estudiantes de bachillerato mediante un diseño cuasiexperimental. Se compararon dos grupos: uno experimental, que utilizó AI + RA para visualizar y manipular modelos 3D; y otro grupo de control, que recibió instrucción tradicional. La percepción estudiantil se evaluó con un cuestionario validado y se aplicaron análisis estadísticos descriptivos, ANOVA, regresión lineal y pruebas de comparación entre grupos.

Los resultados sugieren una alta aceptación de la metodología combinada, con puntuaciones destacadas en su adecuación a la asignatura ($M = 4.15$, $DE = 0.79$) y en la percepción de mejora del aprendizaje ($M = 4.09$, $DE = 0.63$). El pensamiento crítico ($\beta = 0.31$, $p < 0.001$) y la motivación ($\beta = 0.18$, $p < 0.001$) fueron los principales predictores de una percepción

* Doctorado en Ciencias en Física Educativa del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). ORCID: https://orcid.org/0009-0004-4120-8227

** Doctor en Ciencias en Ingeniería de Sistemas por el Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7816-4134

*** Doctor en Ciencias en Física Educativa por el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: https://orcid .org/0000-0002-5248-3230

positiva. Aunque la comparación de los resultados del postest entre grupos no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.113$, ANCOVA), el tamaño del efecto observado ($\eta^2 = 0.042$) sugiere un impacto pequeño, pero favorable, hacia la intervención didáctica con RA + AI.

Palabras clave: *aula invertida, educación en física, realidad aumentada, torque, análisis estadístico, motivación.*

Abstract

This study explored the impact of the flipped classroom (FC) methodology complemented with augmented reality (AR) on teaching the concept of torque to high school students, through a quasi-experimental design. Two groups were compared: an experimental group that used FC + AR to visualize and manipulate 3D models, and a control group that received traditional instruction. Student perception was assessed using a validated questionnaire (Mendaña-Cuervo & López-González, 2021), and descriptive statistics, ANOVA, linear regression, and group comparison tests were applied.

The results suggest a high level of acceptance of the combined methodology, with notable scores for its adequacy to the subject ($M = 4.15$, SD = 0.79) and perceived improvement in learning ($M = 4.09$, SD = 0.63). Critical thinking ($\beta = 0.31$, $p < 0.001$) and motivation ($\beta = 0.18$, $p < 0.001$) were the main predictors of positive perception. Although the post-test comparison between groups did not yield statistically significant differences ($p = 0.113$, ANCOVA), the observed effect size ($\eta^2 = 0.042$) suggests a small but favorable impact of the FC + AR intervention.

Additionally, AR facilitated the understanding of abstract concepts by allowing students to manipulate forces on rigid objects, offering a more visual and interactive learning experience. No significant differences were found by gender ($p = 0.329$) or prior experience with FC ($p = 0.874$), indicating that this methodology may be adaptable to diverse student profiles. These findings, although limited to a specific case study, provide preliminary evidence of the pedagogical potential of integrating FC + AR in high school physics education.

Keywords: *flipped classroom, physics education, augmented reality, torque, statistical analysis, motivation*

Introducción

La enseñanza de la física en el bachillerato enfrenta desafíos significativos, especialmente cuando se abordan conceptos abstractos como el torque, cuya comprensión requiere visualizar relaciones espaciales, vectores y el efecto de fuerzas en cuerpos rígidos. Tradicionalmente, estos temas se enseñan mediante explicaciones teóricas y ejercicios, lo cual puede resultar insuficiente para lograr aprendizajes significativos. Frente a esta dificultad, han emergido nuevas metodologías y tecnologías que buscan transformar la enseñanza-aprendizaje en experiencias más activas, personalizadas y contextualizadas.

Una de estas metodologías es el AI que propone reorganizar los tiempos y espacios del proceso educativo, la instrucción directa se traslada fuera del aula (por ejemplo, mediante videos, lecturas o guías interactivas) y el tiempo presencial se dedica a la resolución de problemas, la discusión colaborativa y la aplicación práctica del conocimiento. Este modelo ha sido ampliamente investigado y ha demostrado su efectividad en el desarrollo de habilidades de orden superior, la autonomía, la motivación y la retención del aprendizaje (Bergmann y Sams, 2012; Bishop y Verleger, 2013; Lo y Hew, 2017). En el área de las ciencias, particularmente la física, su aplicación permite que los estudiantes lleguen a clase con una base conceptual que puede profundizarse mediante actividades experimentales o simuladas. En paralelo, la RA se ha posicionado como una herramienta emergente en el ámbito educativo. Su capacidad para superponer información digital (imágenes, modelos 3D, simulaciones) sobre el entorno real mediante dispositivos móviles o tabletas permite crear experiencias de aprendizaje inmersivas. Diversos estudios han mostrado que la RA mejora la comprensión de conceptos abstractos, la motivación y la atención, especialmente en asignaturas STEM (Fiorella y Mayer, 2018; Hidayat y Wardat, 2024). En el caso de la física, su potencial radica en permitir la manipulación directa de variables y fenómenos que, de otro modo, sólo podrían explicarse de forma teórica.

La combinación entre AI + RA representa una sinergia metodológica prometedora. Mientras que la AI favorece la reorganización del aprendizaje hacia un enfoque activo y centrado en el estudiante, la RA potencia la comprensión visual e interactiva de los contenidos. Investigaciones recientes comienzan a explorar esta convergencia como una forma de enriquecer el aprendizaje conceptual en diversos niveles educativos (Bacca *et al.*, 2019; Lu *et al.*, 2023), aunque todavía son escasos los estudios que abordan esta integración en el nivel de bachillerato y en temáticas específicas como el torque.

El presente estudio analiza el impacto de una estrategia didáctica que integra AI + RA para la enseñanza del torque en estudiantes de bachillerato. Mediante un diseño cuasiexperimental se compararon los resultados de un grupo experimental y un grupo control, considerando tanto la percepción estudiantil como los resultados de aprendizaje. Esta investigación se inscribe en la búsqueda de propuestas pedagógicas innovadoras, orientadas a mejorar la comprensión conceptual en física mediante el uso pedagógico de tecnologías emergentes.

Marco teórico y antecedentes

Aula invertida en la enseñanza de las ciencias

El modelo de AI es una estrategia pedagógica que reorganiza el proceso de enseñanza-aprendizaje, trasladando la instrucción directa fuera del aula a través de recursos digitales y destinando el tiempo presencial a actividades colaborativas, resolución de problemas y construcción activa del conocimiento (Bergmann y Sams, 2012; Bishop y Verleger, 2013). Esta metodología ha mostrado efectos positivos en la motivación, la autonomía del estudiante, la participación activa y el desarrollo de habilidades de orden superior, especialmente en áreas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) (Lo y Hew, 2017; Lu *et al.*, 2023).

En el contexto de la enseñanza de la física, la AI permite que los estudiantes lleguen a clase con un conocimiento previo básico, lo que favorece el uso del tiempo en el aula para actividades experimentales, la discusión

de conceptos complejos y la resolución de situaciones problemáticas. La literatura reporta mejoras en la retención de conceptos abstractos, la participación y la percepción de utilidad de la asignatura (Mustapha y Abdullah, 2024).

Realidad aumentada en la física

La RA es una tecnología que permite superponer información digital (imágenes, videos, objetos 3D) sobre el entorno real, generando experiencias inmersivas e interactivas que enriquecen el proceso de aprendizaje (Azuma, 1997; Fiorella y Mayer, 2018). En educación, la RA ha sido utilizada con éxito en diversas áreas del conocimiento, promoviendo la visualización de conceptos difíciles, el aprendizaje significativo y la motivación (Bacca *et al.*, 2019; Hidayat y Wardat, 2024).

En física, la RA permite representar fenómenos que no pueden observarse directamente, como líneas de campo, trayectorias vectoriales o interacciones de fuerzas. Además, ofrece la posibilidad de manipular variables como la magnitud, la dirección y el punto de aplicación de una fuerza, lo que contribuye a una mejor comprensión del torque, la rotación y otros conceptos mecánicos complejos (de Koning *et al.*, 2018).

Sinergia entre aula invertida y realidad aumentada

Investigaciones recientes han comenzado a analizar cómo el uso integrado de metodologías activas y tecnologías inmersivas puede potenciar el aprendizaje en ciencias (Lu *et al.*, 2023; Paul *et al.*, 2023) . Esta convergencia busca responder a los retos de la educación contemporánea, creando ambientes de aprendizaje más participativos, visuales y significativos.

La combinación de AI + RA permite que los estudiantes adquieran conocimientos previos desde casa (por medio de videos y guías interactivas), y que luego los apliquen en el aula mediante simulaciones aumentadas, lo cual promueve un aprendizaje experiencial y autónomo. Sin embargo, aún son escasos los trabajos que analizan esta combinación en contextos reales,

especialmente en la educación media y en temas tradicionalmente complejos como el torque. Por tanto, es necesario generar evidencia empírica que permita valorar su pertinencia y efectividad en estos niveles.

Metodología

La presente investigación adoptó un enfoque mixto, con un diseño cuasiexperimental de grupos no equivalentes. Se buscó evaluar el impacto de una intervención pedagógica basada en la combinación del modelo de AI con RA sobre la comprensión conceptual del torque y la percepción estudiantil frente a la estrategia didáctica. La comparación se realizó entre un grupo experimental (que recibió la intervención) y un grupo control (que siguió la metodología tradicional).

El estudio se llevó a cabo en la institución educativa Román María Valencia, ubicada en Calarcá (Quindío, Colombia), con una muestra intencional de 66 estudiantes de grado undécimo (15 a 17 años). Los participantes fueron divididos en dos grupos:

- Grupo experimental (n = 33): implementó la estrategia de AI + RA desarrollada específicamente para la enseñanza del torque.
- Grupo control (n = 33): recibió enseñanza tradicional mediante clases magistrales, guías impresas y ejercicios.

La intervención en el grupo experimental se estructuró en tres fases:

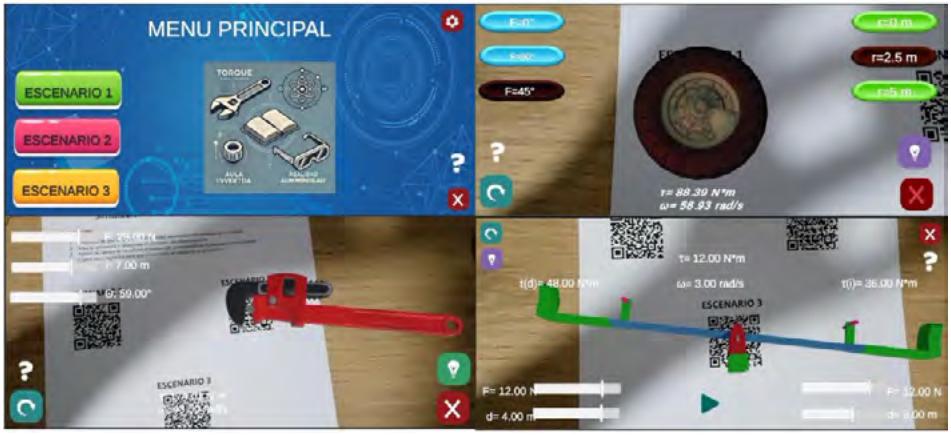
- Pre clase: los estudiantes exploraban desde casa la aplicación móvil de RA para observar y manipular modelos 3D interactivos.
- Clase presencial: desarrollo de actividades colaborativas, resolución de problemas con orientación docente y uso de la simulación RA en grupo.
- Post clase: aplicación de cuestionarios de autoevaluación y ejercicios de retroalimentación inmediata.

La simulación RA, como se muestra en la figura 1, desarrollada en Unity3D con Vuforia, permitía manipular variables como la magnitud, el ángulo y la distancia de aplicación de fuerzas sobre objetos rígidos en escenarios tridimensionales orientados al aprendizaje del torque.

Se emplearon dos tipos de instrumentos:

- Test conceptual de torque (pretest y postest): compuesto por 21 ítems de selección múltiple con única respuesta, validados por juicio de expertos y alfa de Cronbach.
- Cuestionario de percepción sobre el aula invertida, adaptado de Mendaña-Cuervo y López-González (2021), con 18 ítems en escala Likert de 1 a 5 puntos. Su fiabilidad fue verificada mediante Alfa de Cronbach ($\alpha = 0.888$).

Figura 4.*1 Collage de la aplicación de realidad aumentada diseñada para la enseñanza del concepto de torque.*



Fuente: elaboración propia.

Dado que las pruebas de normalidad revelaron distribuciones mixtas, se emplearon tanto pruebas paramétricas como no paramétricas:

- Prueba U de Mann-Whitney para comparar los grupos en el postest.

- ANCOVA para evaluar el efecto de la intervención controlando los puntajes del pretest.
- Regresión lineal para identificar predictores de la percepción positiva.
- Estadística descriptiva para caracterizar la percepción y desempeño de los estudiantes.

Análisis y resultados

Resultados del postest: comparación entre grupos

Para evaluar el impacto de la intervención pedagógica basada en AI + RA, se compararon los puntajes del postest entre el grupo experimental y el grupo control. Dado que los datos no cumplieron completamente los supuestos de normalidad (Kolmogorov-Smirnov $p = 0.010$ en el grupo experimental), se emplearon pruebas no paramétricas y ANCOVA para validar los hallazgos.

La prueba U de Mann-Whitney no mostró una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos ($U = 634.50$; $p = 0.24$), aunque el grupo experimental obtuvo puntuaciones ligeramente superiores. Posteriormente, se aplicó un análisis de covarianza (ANCOVA), considerando los resultados del pretest como covariable. Los resultados tampoco revelaron diferencias significativas ($F(1,59) = 2.590$; $p = 0.113$), pero el tamaño del efecto observado ($\eta^2 = 0.042$) sugiere un impacto pequeño de la intervención en la comprensión del torque.

Según (Cohen, 2013), un η^2 cercano a 0.05 puede considerarse un efecto pequeño, pero educativo y pedagógicamente relevante, especialmente en entornos reales donde múltiples factores influyen en el aprendizaje.

Análisis del aprendizaje dentro de cada grupo

En el grupo control se utilizó una prueba t para muestras relacionadas que mostró una mejora leve, sin diferencias estadísticamente significativas entre el pretest y el postest. En cambio, en el grupo experimental, se aplicó la prueba de Wilcoxon, que sí reveló una mejora significativa ($p < 0.05$), lo que indi-

ca que la estrategia combinada de AI + RA favoreció el progreso conceptual dentro del grupo, aunque sin diferenciarlo claramente frente al grupo control.

Percepción estudiantil sobre la estrategia AI + RA

Los resultados del cuestionario de percepción mostraron una aceptación positiva de la metodología. Las medias más altas se observaron en los ítems "adecuación de la estrategia a la asignatura" ($M = 4.15$; $DE = 0.79$) y "percepción de mejora del aprendizaje" ($M = 4.09$; $DE = 0.63$). Las dimensiones "actitud" y "motivación" también fueron valoradas favorablemente (ambas con $M = 3.90$).

El Alfa de Cronbach obtenido fue 0.888, lo que indica una alta fiabilidad del instrumento. Además, las correlaciones de ítems con la escala total evidenciaron que la motivación ($r = 0.619$) y la actitud ($r = 0.596$) fueron los factores más influyentes en la percepción global.

Factores que influyen en la percepción positiva

Se realizó un análisis de regresión lineal múltiple con la percepción general como variable dependiente y cinco dimensiones como predictores: motivación, autonomía, esfuerzo, interacción con el docente y pensamiento crítico. Los resultados mostraron que el pensamiento crítico ($\beta = 0.31$, $p < 0.001$) y la motivación ($\beta = 0.18$, $p < 0.001$) fueron los principales predictores de una percepción favorable.

Otros factores, como la autonomía ($\beta = 0.21$, $p = 0.054$) y la interacción ($\beta = 0.15$, $p = 0.078$), mostraron tendencias positivas, aunque sin alcanzar una significancia estadística.

Discusión y conclusiones

Los resultados de este estudio sugieren que la combinación metodológica de AI + RA puede ser una estrategia didáctica prometedora para favorecer

la comprensión conceptual del torque en estudiantes de bachillerato. Si bien no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el postest entre el grupo experimental y el grupo control ($p = 0.113$), el tamaño del efecto observado ($\eta^2 = 0.042$) indica una tendencia positiva hacia la intervención, con un impacto pequeño, pero relevante, desde una perspectiva pedagógica.

Al interior del grupo experimental, la mejora entre el pretest y el postest fue significativa ($p < 0.05$), lo que refuerza la utilidad del enfoque AI + RA para generar avances en el aprendizaje del torque. Esta mejora fue acompañada de una percepción estudiantil favorable, con medias superiores a 4.0 en ítems clave relacionados con adecuación, mejora del aprendizaje y motivación. El análisis de regresión mostró que el pensamiento crítico y la motivación fueron los principales predictores de una experiencia positiva, lo que sugiere que la estrategia contribuye no solo al rendimiento, sino también al compromiso y a la valoración del aprendizaje.

Desde una perspectiva educativa, estos hallazgos coinciden con investigaciones previas que destacan el valor de las metodologías activas y las tecnologías inmersivas en la enseñanza de ciencias (Bacca *et al.*, 2019; Lu *et al.*, 2023; Mustapha y Abdullah, 2024). La sinergia entre AI y RA parece crear un entorno de aprendizaje más dinámico, visual y participativo, que facilita la apropiación de conceptos abstractos como el torque, tradicionalmente difíciles de enseñar mediante estrategias convencionales.

Sin embargo, es importante reconocer las limitaciones del estudio. Se trató de una intervención de corta duración, realizada en una única institución educativa, con una muestra limitada ($n = 66$). Por tanto, los resultados no pueden generalizarse a otros contextos sin evidencia adicional. Se requiere cautela al interpretar el impacto de la metodología, especialmente en relación con otros contenidos curriculares o niveles educativos.

Implicaciones pedagógicas y líneas futuras

Este estudio contribuye al conocimiento sobre el uso combinado del aula invertida y la realidad aumentada, particularmente en el área de la mecánica. Aunque sus hallazgos son preliminares, ofrecen una base para futuras

investigaciones que amplíen la muestra, prolonguen el tiempo de intervención y analicen el impacto en otras áreas de la física, como la dinámica o el electromagnetismo.

Se recomienda explorar la integración de estas metodologías con estrategias de aprendizaje colaborativo, evaluación auténtica y retroalimentación en tiempo real. Asimismo, sería valioso comparar el efecto de la RA con otras tecnologías educativas como laboratorios virtuales, simulaciones 2D o aprendizaje basado en juegos.

Créditos

Los resultados reflejados en este capítulo fueron posibles gracias al apoyo recibido por parte del Gobierno de México, a través del Instituto Politécnico Nacional mediante el programa de Proyectos de Investigación en el Programa Especial de Consolidación de Investigadores, a través del proyecto SIP 20241158.

Referencias

Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. Presence: Teleoperators & Virtual Environments, 6(4), 355–385.

Bacca, J., Baldiris, S., & Fabregat, R. (2019). Framework for designing motivational augmented reality applications in vocational education and training. In Australasian Journal of Educational Technology (Issue 3). http://piranya.udg.edu/quimica/files/TableOfFrameworksComparison.pdf

Bergmann, J., y Sams, A. (2012). Flip your classroom: Reach every student in every class every day. International society for technology in education.

Bishop, J., y Verleger, M. A. (2013). The flipped classroom: A survey of the research. 2013 ASEE Annual Conference & Exposition, 23–1200.

Cohen, J. (2013). Statistical power analysis for the behavioral sciences. Routledge.

De Koning, B. B., Hoogerheide, V., y Boucheix, J.-M. (2018). Developments and Trends in Learning with Instructional Video. Computers in Human Behavior, 89, 395–398. https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.08.055

Fiorella, L., y Mayer, R. E. (2018). What works and doesn't work with instructional video. Computers in Human Behavior, 89, 465–470. https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.07.015

Hidayat, R., y Wardat, Y. (2024). A systematic review of augmented reality in science, technology, engineering and mathematics education. Education and Information Technologies, 29(8), 9257–9282.

Lo, C. K., y Hew, K. F. (2017). A critical review of flipped classroom challenges in K-12 education: possible solutions and recommendations for future research. Research and Practice in Technology Enhanced Learning, 12(1), 4. https://doi.org/10.1186/s41039-016-0044-2

Lu, C., Xu, J., Cao, Y., Zhang, Y., Liu, X., Wen, H., Yan, Y., Wang, J., Cai, M., y Zhu, H. (2023). Examining the effects of student-centered flipped classroom in physiology education. BMC Medical Education, 23(1), 233.

Mendaña-Cuervo, C., y López-González, E. (2021). Impacto de la clase invertida en la percepción, motivación y rendimiento académico de estudiantes universitarios. Formación Universitaria, 14(6), 97–108.

Mustapha, M. Z., y Abdullah, N. (2024). The Effects of Flipped Classroom Teaching Method on Science Studentsâ€TM Higher Order Thinking Skills, Engagement and Satisfaction. International Journal of Research and Innovation in Social Science, 8(3s), 3389–3403.

Paul, A., Leung, D., Salas, R. M. E., Cruz, T. E., Abras, C., Saylor, D., Gugliucciello, V., Nunn, J., Gamaldo, C. E., y Strowd, R. E. (2023). Comparative effectiveness study of flipped classroom versus online-only instruction of clinical reasoning for medical students. Medical Education Online, 28(1), 2142358.

5. Motivación al usar un simulador en realidad aumentada móvil
Motivation using a mobile augmented reality simulator

Francisco Aguilar Acevedo*
Jesús Alberto Flores Cruz**
Roberto Romano Rivera***
Luis Alberto Rodríguez Morales****

DOI: https://doi.org/10.52501/cc.399.05

Resumen

Uno de los enfoques disruptivos que más ha permeado en la educación es el uso de la tecnología de realidad aumentada como apoyo en los procesos de enseñanza-aprendizaje, en particular por su facilidad de uso, bajo costo y alcance. En este sentido, se debe señalar a la masificación de los dispositivos móviles como uno de los principales impulsores de su adaptación, siendo la motivación una de las características más exploradas. Así, en este capítulo se presenta la evaluación del grado de motivación al usar un simulador en realidad aumentada móvil en una intervención para la enseñanza de las leyes de Newton a estudiantes universitarios. Los resultados obtenidos destacan la capacidad de la aplicación utilizada para mantener la atención del grupo de estudiantes y un notorio grado de motivación. No obstante,

* Doctor en Ciencias en Física Educativa por el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: https://orcid .org/0000-0002-5248-3230

** Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Legaria, Instituto Politécnico Nacional. Calz. Legaria No. 694, Col. Irrigación, Miguel Hidalgo, C.P. 11500, Ciudad de México, México.

*** Doctor en Ciencias con Especialidad en Astrofísica por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), México. ORCID: https://orcid .org/0000- 0002-3200-8803

**** Doctor en Ciencias con Especialidad en Óptica por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), México. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1277-9248

algunos estudiantes manifestaron una baja confianza en "poder aprender", la cual puede ser asociada a los prejuicios sobre la dificultad que representa el aprender ciencias como la Física.

Palabras clave: *realidad aumentada móvil, aceptación de la tecnología, motivación por aprender.*

Abstract

One of the disruptive approaches that have most permeated education is the use of augmented reality technology to support teaching-learning processes, particularly due to its ease of use, low cost and scope. In this sense, massification of mobile devices is pointing out as one of the main reasons of their adaptation, being the motivation one of the most explored characteristics. Thus, this chapter evaluates the degree of acceptance and motivation when using a mobile augmented reality simulator in an intervention for teaching Newton's laws to university students. Results obtained highlight the application's ability to maintain the attention of the group of students and a notable degree of motivation. However, some students expressed low confidence in "being able to learn," which may be associated with prejudices about the difficulty of learning sciences such as Physics.

Keywords: *mobile augmented reality, technology acceptance, motivation to learn.*

Introducción

Diversas investigaciones señalan a la realidad aumentada como un enfoque prometedor para abordar la enseñanza de conceptos complejos, abstractos, y/o invisibles e intangibles como los que se presentan en ciencias como la Física (Lai & Cheong, 2022), esto al permitir transformar cualquier objeto 3D en un escenario académico estimulante (Liono *et al.*, 2021). En particular, una forma de aprendizaje experiencial al que se ha

incorporado la realidad aumentada es el aprendizaje basado en simulaciones, bajo la premisa de fomentar el aprendizaje a través de una interacción multimodal (Hashim *et al*., 2022), con réplicas virtuales de "escenarios reales" o experimentos de laboratorio, que no pueden ser realizados debido a falta de recursos o equipos en las instituciones educativas (Rehman *et al*., 2021).

Dentro de los atributos asociados a la realidad aumentada se encuentran el aprendizaje, el interés, la experiencia y la motivación de los estudiantes (Yildiz, 2021). Esta última ha sido una de las características más examinadas. En este sentido, un modelo de motivación instruccional empleado con regularidad en la evaluación de aplicaciones de realidad aumentada en dispositivos móviles es el modelo ARCS (*Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction*) de Keller (2010), que se presenta como un buen predictor para explicar la motivación, a través de la atención, relevancia, confianza y satisfacción que genera la interacción con objetos de realidad aumentada (Prasetya *et al*., 2024, Gandolfi & Ferdig, 2025).

En este capítulo, se presenta el estudio de una intervención educativa con estudiantes de primer semestre de ingeniería, cuyo propósito es analizar el grado de motivación alcanzado tras una instrucción apoyada con un simulador en realidad aumentada móvil. Este objetivo se enfoca en la variable motivación y su estimación mediante el cuestionario RIMMS (*Reduced Instructional Materials Motivation Survey*) derivado del modelo ARCS (Loorbach *et al*., 2015), en el contexto de una experiencia educativa que incorpora recursos digitales innovadores para la enseñanza de conceptos físicos. Respecto a la tecnología de realidad aumentada, se hizo uso de la aplicación para dispositivos móviles presentado por Aguilar et al. (2022), que exhibe una valoración positiva en los aspectos técnicos de utilización y guía. La aplicación permite la simulación del movimiento en un plano horizontal de un cuerpo sobre el que actúa una fuerza de contacto y la gravedad, y el del movimiento en un plano inclinado de un cuerpo que se encuentra solo bajo la influencia de la gravedad.

Metodología

Con el propósito de explorar la motivación al usar un simulador en realidad aumentada en un contexto especifico, se realizó un estudio de un solo grupo, con una población (finita pequeña) de 16 estudiantes (3 mujeres y 13 hombres) de primer semestre de ingeniería que cursaban una asignatura introductoria a temas de Física.

El grado de motivación fue valorado a través de un diseño post-test empleando el instrumento de motivación RIMMS, el cual se conforma de 12 ítems (véase Tabla 1) agrupados en las dimensiones del modelo ARCS, Atención (1 al 3), Relevancia (4 al 6), Confianza (7 al 9) y Satisfacción (10 al 12). En la Figura 1 se ilustra la dependencia lineal entre *ítems* del instrumento a través de la correlación de Pearson, obtenida mediante la hoja de cálculo estadístico Jamovi. Como se observa, todas las correlaciones son positivas, y en su mayoría entre moderadas y fuertes (Cohen, 1988), lo que indica una asociación directa entre *ítems* de cada dimensión. En el mismo sentido, se evaluó la fiabilidad del instrumento mediante el coeficiente alfa de Cronbach, obteniendo un valor de 0.787, que de acuerdo con Tavakol y Dennick (2011) se considera como aceptable. A nivel de dimensión, la encuesta mostró valores aceptables de 0.751 para la Atención y la Confianza, y moderados para la Relevancia (0.656) y la Satisfacción (0.575).

Respecto a la intervención educativa, esta consistió en dos sesiones presenciales de una hora y media cada una, en donde el docente hizo uso del simulador en realidad aumentada móvil, como apoyo para la enseñanza del tema "Leyes de Newton". A cada estudiante le fueron proporcionados dos marcadores para la activación de las correspondientes simulaciones, conformando equipos de cuatro personas (véase Figura 2). Es de indicar que, antes de iniciar la intervención, les fue proporcionado a los estudiantes el archivo ejecutable (apk) para la instalación del simulador en realidad aumentada móvil, por lo que los estudiantes exploraron el uso de la aplicación previo al comienzo de las actividades relacionadas con la intervención. Al concluir la instrucción se les aplicó a los estudiantes el instrumento RIMMS.

Figura 5..*1. Mapa de calor de correlación para el instrumento RIMMS generado mediante Jamovi. Fuente: elaboración propia.*

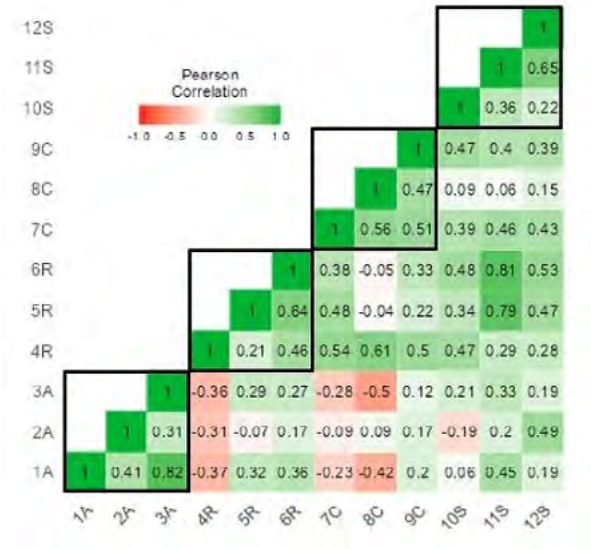


Figura 5.*2. Estudiantes participando en la intervención. Fuente: elaboración propia*

Resultados

En la Tabla 5.1 se presentan las medias, desviaciones típicas, modas y frecuencias por ítem y dimensión para el instrumento RIMMS. La media total obtenida fue de 4.083 con una desviación de 0.840. A nivel de dimensión, la Relevancia y la Confianza presentan la media más alta (4.292) y baja (3.729) respetivamente, mientras la Atención muestra la menor desviación

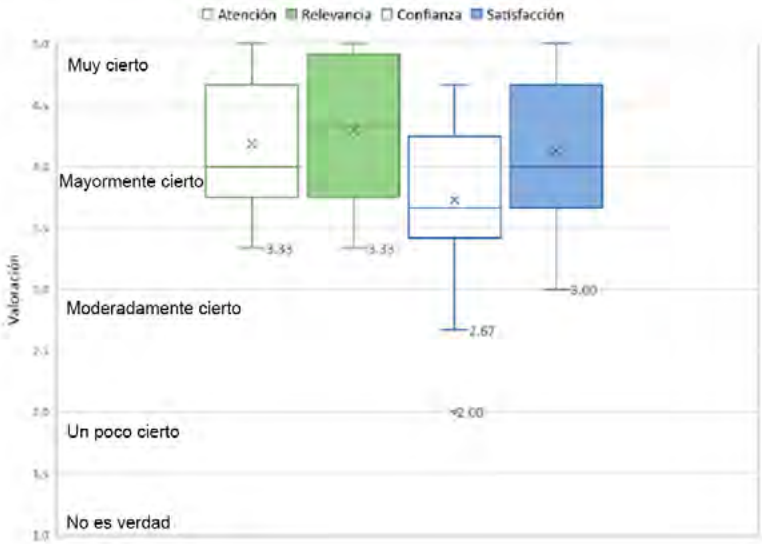
(0.673), y la Satisfacción la mayor dispersión (0.914). En el caso de los ítems, el 67% (8/12) de ellos presentaron una valoración media entre 4 y 5 (máximo de la escala) y el 33% entre 3 y 4, superando el valor central de la escala (de 3.0) para todos los casos, con desviaciones equiparables entre 0.512 y 1.138. En este sentido, las medias más altas (4.438) se presentaron para los ítems 6 y11, los cuales se relacionan con la utilidad del contenido y el disfrute al usar la aplicación.

Tabla 5.*1. Media, desviación típica, moda y frecuencia por ítem y dimensión para el instrumento RIMMS. Fuente: elaboración propia.*

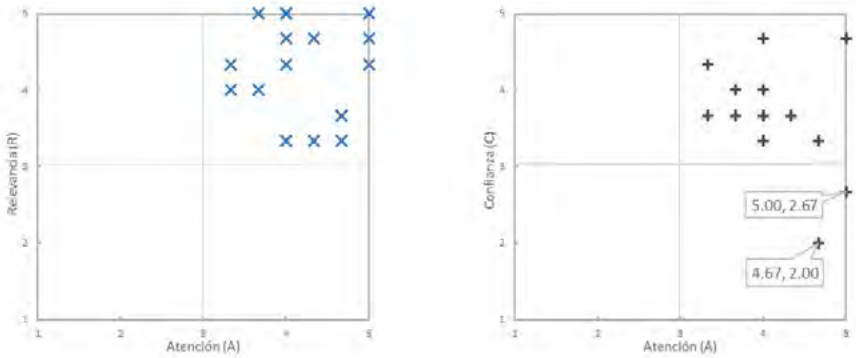
Ítem	*M*	*S*	*Mo*	*f*
Atención (A)	***4.188***	***0.673***		
1. La calidad de los elementos (textos y objetos 2D/3D) de la aplicación ayudó a mantener mi atención.	4.125	0.619	4	10
2. La forma en que se organiza la información en la aplicación ayudó a mantener mi atención.	4.125	0.719	4	8
3. La variedad de elementos de la aplicación ayudó a mantener mi atención.	4.313	0.704	5,4	7
Relevancia (R)	***4.292***	***0.798***		
4. Me queda claro cómo se relaciona el contenido de esta aplicación con las cosas que ya sé.	4.125	0.957	5	7
5. El contenido y estilo de esta aplicación transmiten la impresión de que vale la pena trabajar con ella.	4.313	0.793	4	8
6. El contenido de esta aplicación me será útil	4.438	0.629	5	8
Confianza (C)	***3.729***	***0.869***		
7. Mientras trabajaba en esta aplicación, confiaba en que podría aprender el contenido	3.875	0.806	4	9
8. Después de trabajar en esta aplicación por un tiempo, estaba seguro de que sería capaz de pasar una prueba (de este tema).	3.500	1.033	4	7
9. La buena organización del contenido me ayudó a confiar en que aprendería este material.	3.813	0.750	4	7
Satisfacción (S)	***4.125***	***0.914***		
10. Disfruté tanto esta aplicación que me gustaría saber más sobre este tema.	3.688	1.138	4	6
11. Realmente disfruté estudiando en esta aplicación	4.438	0.512	4	9
12. Fue un placer trabajar en una aplicación tan bien diseñada.	4.250	0.856	5,4	7

En la Figura 5.3 se representan los valores promedio por dimensión. Como se observa, las valoraciones se ubicaron en su mayoría en la parte superior de la escala, lo que indica un grado notorio de motivación del grupo de estudiantes tras hacer uso del simulador en realidad aumentada móvil.

Figura 5.3. *Valores promedio por dimensiones del instrumento RIMMS. Fuente: elaboración propia.*



En la Figura 5.4 se muestra la relación entre las variables asociadas a las dimensiones del instrumento RIMMS, a partir de los valores promedio por dimensión para cada participante. La agrupación etiquetada como CM (*Conjunto-Motivación*) en la Figura 4g señala las respuestas de los participantes que superaron el valor central de la escala.



a) b)

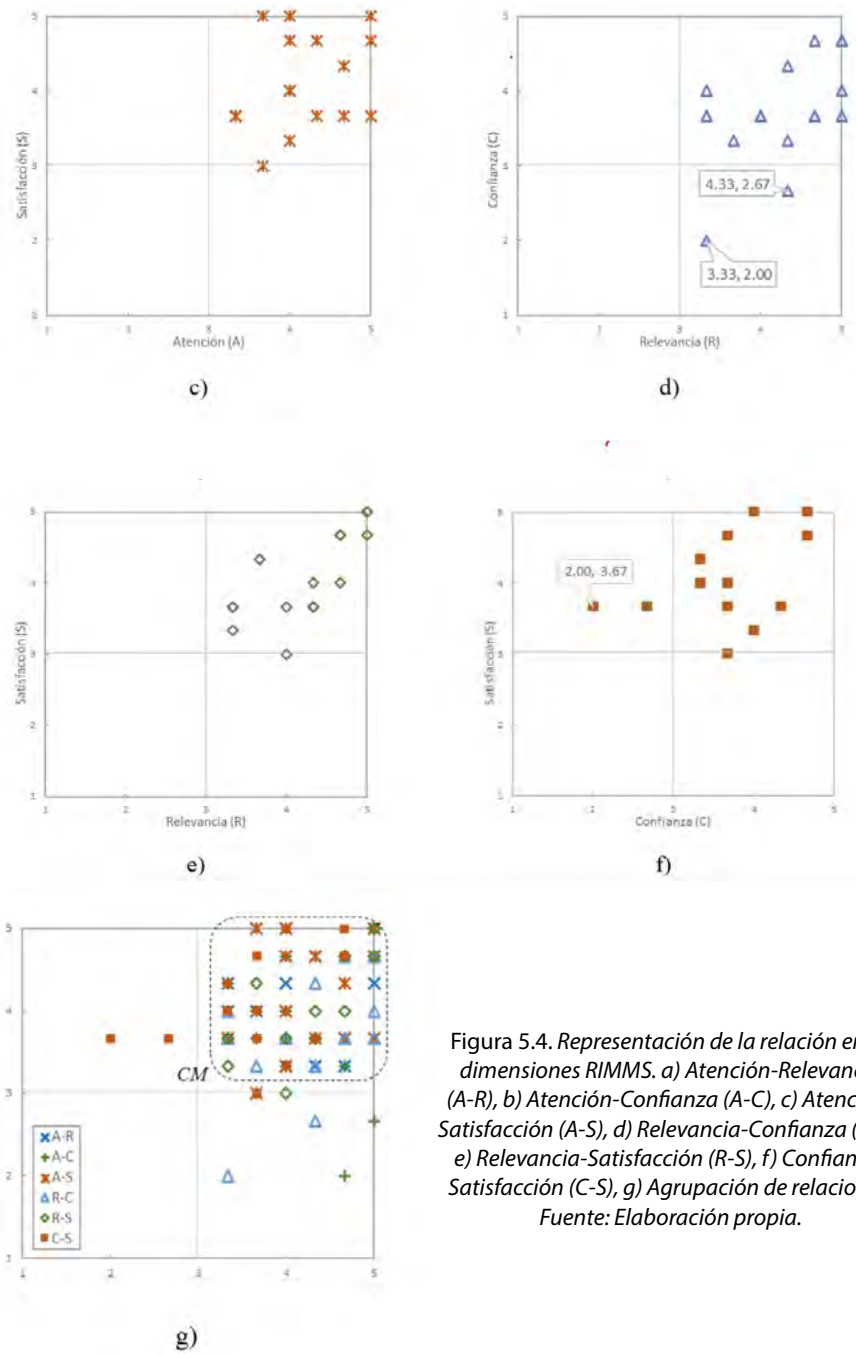


Figura 5.4. *Representación de la relación entre dimensiones RIMMS. a) Atención-Relevancia (A-R), b) Atención-Confianza (A-C), c) Atención-Satisfacción (A-S), d) Relevancia-Confianza (R-C), e) Relevancia-Satisfacción (R-S), f) Confianza-Satisfacción (C-S), g) Agrupación de relaciones. Fuente: Elaboración propia.*

Discusión

Sobre el grado de motivación, a nivel de dimensión en la Tabla 5.1 se observa a la *Relevancia* como la de media más alta, siendo el *ítem* 6, relacionado con la utilidad del contenido de la aplicación, el que denota la valoración media más alta dentro de la dimensión. En un mismo sentido, es de destacar que el 63% (10/16) de los participantes consideran que la calidad de la aplicación ayudó a mantener su atención, lo cual se reafirma alrededor de toda la dimensión de *Atención*. Por otra parte, es de remarcar la baja expectativa de éxito (Confianza) percibida por los estudiantes al usar el simulador, reflejada en mayor medida a través del *ítem* 8 "Después de trabajar en esta aplicación por un tiempo, estaba seguro de que sería capaz de pasar una prueba", que presenta la media más baja y una alta dispersión, y que a nivel de participante presentó valores medios de confianza de 2.00 y 2.67 para dos estudiantes (véase Figura 3). Si bien, este hecho podría ser contradictorio al comportamiento de las otras dimensiones del instrumento, es de señalar que, la dificultad que representa para muchos estudiantes el aprendizaje de la Física (Reid & Skryabina, 2002), en diferentes contextos (Hernánez-Suarez *et al.*, 2021), puede generar actitudes de rechazo que les impidan aprender de manera efectiva. Este mismo hecho, se remarca a través de los bajos valores medios y la más alta dispersión del *ítem* 10 "Disfruté tanto esta aplicación que me gustaría saber más sobre este tema", no obstante que, bajo la misma dimensión (Satisfacción) los participantes indicaron disfrutar de la aplicación (*ítem* 11 y 12), lo cual podría ser un indicativo de la irrelevancia que representa para algunos estudiantes aprender Física (Testa *et al.*, 2022).

En el caso de las relaciones entre la Atención, Relevancia y Satisfacción, en la Figura 4 se puede observar una relación lineal positiva, sin embargo, se evidencia una disparidad respecto al atributo de Confianza, que incluso se traduce en una relación Atención-Confianza negativa, que se evidencia con altos valores de Atención y bajos de Confianza (por debajo de la escala media de 3.0), lo que viene a contribuir a la observación realizada a nivel de ítem. Respecto a la representación de todos los pares de datos, como lo denota la agrupación CM en la Figura 4g, el 86% (55/64) de los participantes mostraron diferentes grados de motivación por aprender, a través de la

conexión entre la Atención, Relevancia, Confianza y Satisfacción, lo que presume una continua motivación por aprender de acuerdo al modelo ARCS.

Conclusiones

Los resultados obtenidos sobre la motivación por aprender en este caso analizado, destacan la capacidad de la aplicación para mantener la atención del grupo de estudiantes y el notorio grado de motivación mostrado, no obstante la baja confianza en poder aprender por parte de algunos estudiantes. Las observaciones sobre la "Confianza", al usar la aplicación de realidad aumentada, permite asociar esta supuesta actitud de rechazo más que a la instrucción, a los prejuicios sobre la dificultad que representa el aprender ciencias como la Física.

La información obtenida sobre la percepción de la motivación en un entorno educativo real, busca contribuir a la formulación de directrices para la integración de recursos de realidad aumentada en la enseñanza de las ciencias, alrededor de estrategias como el aprendizaje colaborativo y el basado en juegos (Upadhyay *et al.*, 2024, Suhail *et al.*, 2024). Entre los trabajos futuros se contempla la formulación de secuencias didácticas que integren recursos en realidad aumentada móvil similares al utilizado en este estudio, así como la evaluación de este tipo de aplicaciones con poblaciones más amplias, lo que permitiría validar y generalizar los resultados obtenidos.

Referencias

Aguilar, F., Flores, J. A., Hernández, C. A., y Pacheco, D. (2022). Diseño e implementación de un simulador basado en realidad aumentada móvil para la enseñanza de la física en la educación superior. Edutec, (80), 66–83. https://doi.org/10.21556/edutec.2022.80.2509

Cohen, J. (1988). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences (2nd ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203771587

Gandolfi, E., y Ferdig, R. E. (2025). Exploring the relationship between motivation and augmented reality presence using the augmented reality presence scale (ARPS).

Educational Technology Research and Development. (2025). Advance online publication. https://doi.org/10.1007/s11423-025-10446-5

Hashim, N. C., Majid, N. A. A., Arshad, H., Hashim, H., y Alyasseri, Z. A. A. (2022). Mobile Augmented Reality Based on Multimodal Inputs for Experiential Learning, IEEE Access, 10, 78953–78969. https://doi.org/10.1109/access.2022.3193498

Hernánez-Suárez, C. A., Gamboa-Suárez, A. A, y Suárez, O. J. (2021). Attitudes towards physics. A study with high school students from the Colombian context. Journal of Physics: Conference Series, 2118, Article 012019. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2118/1/012019

Keller, J. M. (2010). Motivational design for learning and performance. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1250-3

Lai, J. W. y Cheong, K. H. (2022). Educational Opportunities and Challenges in Augmented Reality: Featuring Implementations in Physics Education. IEEE Access, 10, 43143–43158. https://doi.org/10.1109/access.2022.3166478

Liono, R. A., Amanda, N., Pratiwi, A., y Gunawan, A. A. S., (2021). A Systematic Literature Review: Learning with Visual by The Help of Augmented Reality Helps Students Learn Better. Procedia Computer Science, 179, 144–152. https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.12.019

Loorbach, N., Peters, O., Karreman, J., y Steehouder, M. (2015). Validation of the Instructional Materials Motivation Survey (IMMS) in a self-directed instructional setting aimed at working with technology. British Journal of Educational Technology, 64(1), 204–218. https://doi.org/10.1111/bjet.12138

Prasetya, F., Fortuna, A., Samala, A. D., Rawas, S., Mystakidis, S., Syahril, Waskito, Primawati, Wulansari, R. E., y Kassymova, G. K. (2024). The impact of augmented reality learning experiences based on the motivational design model: A meta-analysis. Social Sciences & Humanities Open, 10, Article 100926. https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.100926

Rehman, N., Zhang, W., Mahmood, A., y Alam, F. (2021). Teaching physics with interactive computer simulation at secondary level. Brazilian Journal of Education, Technology and Society, 14(1), 127–141. https://doi.org/10.14571/brajets.v14.n1.127-141

Reid, N., y Skryabina, E. A. (2002). Attitudes towards Physics. Research in Science & Technological Education, 20(1), 67–81. https://doi.org/10.1080/02635140220130939

Suhail, N., Bahroun, Z. y Ahmed, V. (2024). Augmented reality in engineering education: enhancing learning and application. Frontiers in Virtual Reality, 5, Article 1461145. https://doi.org/10.3389/frvir.2024.1461145

Tavakol, M., y Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. International Journal of Medical Education, 2, 53–55. https://doi.org/10.5116/ijme.4dfb.8dfd

Testa, I., De Luca Picione, R., y Scotti di Uccio, U. (2022). Patterns of Italian high school and university students' attitudes towards physics: an analysis based on semiotic-cultural perspective. European Journal of Psychology of Education, 37, 785–806. https://doi.org/10.1007/s10212-021-00563-z

Upadhyay, B., Brady, C., Madathil, K. C., Bertrand, J., McNeese, N. J., y Gramopadhye, A. (2024). Collaborative augmented reality in higher education: A systematic review of effectiveness, outcomes, and challenges. Applied Ergonomics, 121, Article 104360. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2024.104360

Yildiz, E. P. (2021). Augmented Reality Research and Applications in Education. In D. Cvetković (Ed.), Augmented Reality and Its Application. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.99356

6. Integración de la programación en Python para el desarrollo del pensamiento físico matemático en la enseñanza de la caída de los cuerpos

The Integration of Python Programming in the Development of Physics-Mathematical Thinking for Teaching Falling Bodies

David Steven Maldonado Aponte*
Olga Lucía Castiblanco Abril**

DOI: https://doi.org/10.52501/cc.399.06

Resumen

La enseñanza de la física en la educación secundaria enfrenta dificultades persistentes debido al predominio de metodologías que consideran que la física es matemáticas, y que desarrollan procesos rígidos. Usualmente se desconectan los conceptos científicos de la realidad cotidiana de los estudiantes, generando desmotivación y bajo rendimiento. Esta es la realidad con la que se encuentra el docente-coinvestigador de este trabajo en su ámbito laboral, por lo cual enfrenta la necesidad de explorar estrategias innovadoras que propicien la comprensión de fenómenos naturales, como el de la caída de los cuerpos, por ser este el tema que le correspondía enseñar según el currículo establecido. El presente estudio se llevó a cabo con 25 estudiantes de grado undécimo del colegio Queen College, en Bogotá, durante un semestre académico. Se diseñó, ejecutó y evaluó una secuencia de tres talleres, desde la perspectiva de la investigación acción, con el fin de contribuir al desarrollo

* Licenciado en Física. Grupo de Investigación en Enseñanza y Aprendizaje de la Física-GEAF. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-5065-9119

** Doctora en Educación para la Ciencia. Docente asociada de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. olcastiblancoa@udistrital.edu.co ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8069-0704

del pensamiento físico matemático a través de la integración progresiva del abordaje fenomenológico, la observabilidad de los sistemas y la modelación en la cual se integra el uso de Python. Se combinaron métodos cualitativos y cuantitativos para analizar el impacto de la intervención, propiciando ambientes para transitar desde el reconocimiento del fenómeno a partir de las sensaciones y reflexiones hasta la construcción de modelos explicativos basados en el debate y la construcción de líneas argumentativas. Para la recolección de datos se emplearon bitácoras y un cuestionario final con preguntas abiertas. Los resultados evidencian un tránsito significativo desde explicaciones iniciales centradas en el peso, como factor determinante del tiempo de caída, hacia interpretaciones más estructuradas que incorporan la forma, la resistencia del aire y la aceleración constante. La modelación computacional facilitó la visualización y la verificación de relaciones matemáticas entre altura, tiempo y velocidad, consolidando la comprensión del fenómeno y promoviendo el desarrollo de habilidades de observación, análisis y argumentación en física. Se concluye que la integración de Python en un proceso estructurado de matematización de la física, precedida por fases de exploración fenomenológica y observación sistemática, constituye una alternativa eficaz para transformar la enseñanza de la física

Palabras clave: *matematización, enseñanza de la física, modelación computacional, caída de los cuerpos, aceleración de la gravedad.*

Abstract

Physics teaching at the secondary level continues to face persistent challenges, largely due to traditional teaching methods that treat physics as a branch of mathematics, emphasizing rigid problem-solving over conceptual understanding. When scientific concepts are disconnected from students' everyday experiences, motivation declines, and academic performance is affected. This is the reality the teacher-researcher encountered in their professional context, prompting the exploration of innovative strategies to improve students' grasp of natural phenomena, specifically, the physics of falling bodies, as mandated by the curriculum. This study was conducted over one academic semester

with 25 eleventh-grade students at Queen College in Bogotá. Using an action research framework, a series of three workshops were designed, implemented, and evaluated to foster physics mathematical thinking. The approach combined phenomenological exploration, systematic observation, and computational modeling with Python as a key tool. Qualitative and quantitative methods were employed to assess the intervention's impact, guiding students from initial sensory engagement with the phenomenon to the construction of explanatory models through debate and structured argumentation. Data was collected via student diaries and a final open-ended questionnaire. The results revealed a notable shift in student understanding: early explanations focused solely on weight as the determinant of fall time, but later interpretations incorporated factors like object shape, air resistance, and constant acceleration. Computational modeling with Python helped students visualize and test mathematical relationships among height, time, and velocity, deepening their conceptual understanding while honing their observational, analytical, and argumentation skills.The study concludes that integrating Python into a structured physics curriculum, beginning with phenomenological exploration and progressing toward mathematical formalization, offers a promising pathway to transform physics education.

Keywords: *mathematization, physics teaching, computational modeling, free fall, gravity acceleration.*

1. Introducción

La enseñanza de la física en la educación secundaria enfrenta desafíos estructurales que se manifiestan en la desconexión entre los contenidos escolares y la experiencia cotidiana de los estudiantes. Esta situación, documentada por autores como Hake (1998) y McDermott (1997), ha generado una percepción de la física como una disciplina abstracta, difícil y poco relevante, lo que repercute en la motivación y el rendimiento académico. En particular, la comprensión del fenómeno de la caída de los cuerpos suele limitarse a la aplicación mecánica de fórmulas y a la memorización de procedimientos, sin que los estudiantes logren construir

explicaciones ni establecer conexiones significativas entre los modelos matemáticos y la realidad observable, más aún, sin encontrar algún sentido para estudiar este fenómeno. Esta problemática se agrava en contextos escolares donde la alta rotación docente, la falta de formación específica y la ausencia de recursos experimentales dificultan la implementación de metodologías alternativas y contextualizadas, cuyo caso es el del colegio Queen College de Bogotá, donde se desarrolló la presente investigación y donde el docente co-investigador encontró una oportunidad de mejora para la enseñanza de la física.

2. Caracterización del problema y pregunta

Investigadores del campo de la formación de profesores han mostrado cómo, a pesar de los muchos resultados de investigación en el área, aún es muy incipiente el impacto en las prácticas educativas cotidianas. Por un lado, porque se requieren transformaciones curriculares y, por otro, porque se necesitan nuevos conocimientos que permitan transformar el discurso del docente, según explica Castiblanco (2023). Parece que existe una dicotomía entre ser docente con impacto en el desarrollo integral de los estudiantes y enseñar la física rigurosamente, como si uno excluyera a lo otro. En el contexto específico de la enseñanza de la mecánica, particularmente del fenómeno de la caída de los cuerpos, esta suele limitarse al uso de las ecuaciones del movimiento, pasando por alto el análisis sobre hechos como que la caída libre es en línea recta vertical, con una aceleración constante producida por la fuerza de atracción de la gravedad, y en donde la fuerza de atracción de la gravedad depende de la masa, pero la aceleración que se produce no depende de ella. Estos aspectos, que suelen tomarse como obvios, al no ser estudiados constituyen un obstáculo para la comprensión del fenómeno.

Así, se formula la siguiente pregunta: *¿cómo desarrollar el pensamiento físico matemático para lograr la comprensión del fenómeno de la caída de los cuerpos en el contexto de la educación secundaria?*

3. Marco de referencia

En respuesta a los retos planteados anteriormente, la literatura reciente en didáctica de la física ha destacado la necesidad de transformar la formación docente para que adquiera un nuevo discurso que le permita desarrollar prácticas de enseñanza mediante el desarrollo de procesos en el aula que promuevan el abordaje fenomenológico, la observabilidad de los sistemas físicos y la construcción de modelos explicativos.

3.1 La didáctica de la física

Castiblanco, (2013), Castiblanco y Nardi (2018), Castiblanco y Nardi (2023) proponen una perspectiva dimensional de la didáctica de la física que articula la dimensión disciplinar, enfocada en el desarrollo de la metacognición sobre el contenido de la física, la dimensión sociocultural, enfocada en el desarrollo de habilidades para la contextualización de la enseñanza desde una perspectiva crítico-reflexiva, y la dimensión interaccional, enfocada en la transformación de los roles que juegan docentes y estudiantes en torno a una nueva comprensión de la relación entre la física y las matemáticas, así como su evaluación. En esta última dimensión se desarrolla conocimiento específico en torno a las tipologías de experimentación, de tecnologías de la información y de la literatura puestas al servicio de objetivos educativos, y no introducidos estos recursos como el todo de la didáctica.

La literatura reciente sobre la didáctica de la física advierte sobre la necesidad de transformar las prácticas de enseñanza, proponiendo la integración de estrategias que favorezcan el abordaje fenomenológico, la observación sistemática de los sistemas previamente configurados y la construcción de modelos explicativos, como lo desarrollan Castiblanco y Vizcaíno (2024 a, b). En esta última fase de modelación, hay una tendencia en el área a integrar la programación como estrategias, según Bernal y Peña (2023), quienes trabajan específicamente con el lenguaje de Python. Sin embargo, la incorporación de tecnologías como Python en el aula, aunque prometedora, no garantiza por sí sola la comprensión conceptual, ya que requiere estar articulada con fases previas de indagación y análisis que permitan a

los estudiantes identificar variables, formular hipótesis y construir modelos explicativos fundamentados para luego desarrollar la modelación.

3.2 El pensamiento físico matemático

En contraposición a la idea de que la física es matemáticas, o que las matemáticas son el lenguaje de la física, se adopta un referencial que defiende que el desarrollo del pensamiento físico matemático es fundamental para el aprendizaje de la física, según Castiblanco y Vizcaíno (2024 a, b), Paramero (2023), Vizcaíno y Terrazzan (2020). Se parte de resaltar que, más que aprender a usar ecuaciones, lo que se requiere es orientar un proceso que inicia con la toma de conciencia de que el fenómeno natural existe, más allá de la mera ilustración. Luego se pasa a un reconocimiento de lo que significa observar sistemáticamente el sistema físico, lo que implica identificar variables, parámetros y constantes para construir observables, y finalmente, construir un modelo explicativo que cobre sentido para el estudiante, en el sentido que indica Laird (2010), impactando las representaciones mentales, de modo que se ajuste a las trayectorias cognitivas naturales de los estudiantes. Este proceso debe ser enriquecido con la integración de experimentación, tecnologías, literatura y diversos recursos.

Los estudiantes necesitan poder responder preguntas como: ¿cuál es la razón de la constancia de la aceleración? ¿por qué es la misma para todos los cuerpos?, ¿por qué su valor tiene solo un pequeño rango de variación para el caso de la Tierra?, entre muchos otros interrogantes que están implícitos en el modelo, pero que los estudiantes no comprenden. Esto se debe principalmente a que los profesores no los hacen explícitos, bien sea porque lo consideran obvio o, incluso, porque tampoco los entienden (Maldonado, 2025). Esta problemática se ve agravada por factores estructurales como la alta rotación de docentes, la falta de formación específica en física y la carencia de espacios adecuados para la experimentación, lo que dificulta la implementación de metodologías activas y contextualizadas.

4. Metodología de la investigación

Se desarrolló una investigación-acción, combinando estrategias cualitativas y cuantitativas para analizar el impacto de la integración de la modelación computacional en el desarrollo del pensamiento físico matemático de estudiantes de secundaria. El objetivo central fue intervenir directamente en el proceso educativo mediante la implementación de una secuencia de talleres progresivos. Esta modalidad posibilitó que el docente investigador desempeñara un papel de liderazgo en el diseño, la ejecución y el ajuste de las estrategias de enseñanza, evaluando en tiempo real los resultados y las necesidades emergentes del grupo. El estudio se realizó con una población de 25 estudiantes de grado undécimo del colegio Queen College de Bogotá durante un semestre académico, en el contexto de la asignatura de física.

Para la recolección de datos, se diseñó una bitácora que los estudiantes debían completar durante cada taller, registrando observaciones, hipótesis, análisis y reflexiones personales. Además, se aplicó un cuestionario final con preguntas abiertas, orientado a captar la percepción de los estudiantes sobre el fenómeno de la caída de los cuerpos y la utilidad de Python como herramienta de modelación. Complementariamente, se analizaron los códigos y las gráficas generadas por los estudiantes en las simulaciones computacionales, lo que permitió obtener evidencia directa de la apropiación de conceptos y el desarrollo de habilidades de pensamiento.

Para el análisis de datos, se identificaron patrones en las explicaciones, percepciones y argumentaciones de los estudiantes, tanto en las bitácoras como en las respuestas al cuestionario. Por otro lado, se aplicó un análisis descriptivo de los datos cuantitativos obtenidos de las simulaciones y ejercicios en Python, evaluando la frecuencia y la precisión con que los estudiantes identificaban variables, establecían relaciones matemáticas y representaban gráficamente el fenómeno estudiado. Esta triangulación metodológica permitió comprender de manera más profunda el proceso de evolución conceptual y las dificultades encontradas en la integración de herramientas computacionales en la enseñanza de la física.

4.1 Proceso de intervención en el aula para el desarrollo del pensamiento físico matemático

A continuación, se presenta una síntesis del contenido y la metodología de los tres talleres realizados, uno por cada fase del proceso, de acuerdo con el referencial adoptado.

4.1.1 Abordaje fenomenológico

Se experimentó con la caída de objetos bajo diferentes condiciones y en diferentes configuraciones: 1) objetos iguales que caen libremente desde la misma altura, 2) con igual masa y diferente volumen, 3) con igual volumen y diferente masa, 4) con igual forma y diferentes densidades. Para ello, se crearon varias estaciones, cada una con una configuración diferente de objetos. Los grupos rotaron entre ellas para realizar las observaciones y grabaciones en video de cámara lenta de cada una de las caídas. En cada estación, los grupos registraron en su bitácora las observaciones sobre el movimiento respondiendo las pregunta: ¿qué observaron? Al final se dio una discusión grupal para comparar los datos y reflexionar sobre lo observado.

Figura 6.*1. Configuraciones de objetos que se dejan caer libremente*

Fuente: elaboración propia.

4.2 Observabilidad del sistema

Se inicia organizando un sistema de objetos con masa m, 2m y 3m. También se llevaron a cabo varias pruebas utilizando globos, que fueron llenados de

la siguiente forma: el globo con masa (m) se llenó con 500 ml, el globo con masa (2m) con 1000 ml, y el globo con masa (3m) con 1500 ml, dejándolos caer desde diferentes alturas para resolver las dudas y debates que quedaron planteados en el primer taller. Esto llevó a concluir que era necesario idealizar el comportamiento y que se requería ver con mayor detalle cuánta distancia recorrían por unidad de tiempo.

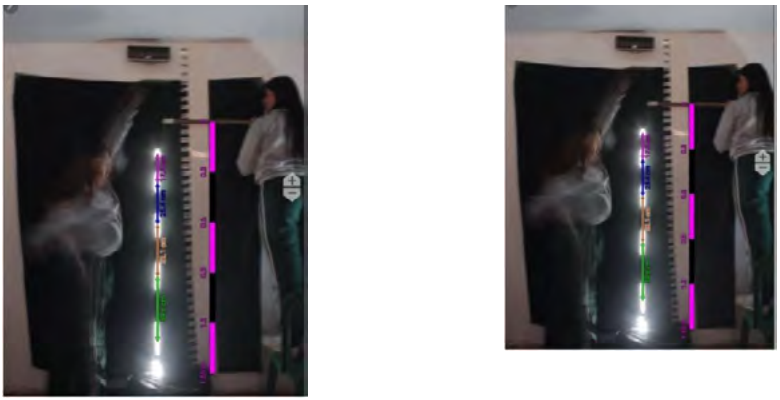
Figura 6.2. *Estudiantes dejando caer globos con aire y agua desde diferentes alturas.*

Fuente: elaboración propia.

La discusión sobre estos resultados llevó a la necesidad de implementar la fotografía estroboscópica. Esto se hizo manualmente para tener un mayor impacto en las construcciones conceptuales de los estudiantes. Esto implicó, primero, un estudio sobre cómo funciona la cámara fotográfica y luego la organización del set utilizando la luz de destellos. Así, se empleó una luz de destellos de 25 Hz en dos configuraciones. En la primera, se utilizó un teléfono móvil, cuya luz de destellos provenía del flash a 25 Hz (ver figura 6.3). En la segunda configuración, un objeto fue lanzado y se iluminó con una luz estroboscópica externa (*strober*), mientras se colocaba una regla métrica de 1.75 m de altura con marcadores cada 5 cm. A continuación, se muestra la ejemplificación de ambas configuraciones.

Con las imágenes tomadas, los estudiantes usaron un software llamado "ImageMeter"[1] que permite escalar el tamaño real de la práctica con el de la fotografía para medir la distancia recorrida por el objeto entre destello y destello, sabiendo que cada destello deja una imagen en la fotografía. El tiempo de caída fue calculado usando el valor de frecuencia de destello de la luz como el tiempo de duración entre cada imagen. Luego se graficaron los resultados de la variación de la distancia recorrida, la velocidad y, a partir de allí, se calculó la aceleración para cada segmento en la caída.

Figura 6.3. *(a) objeto cayendo iluminado con luz de destellos. (b) celular cayendo con la luz de destellos encendida.*



Fuente: elaboración propia.

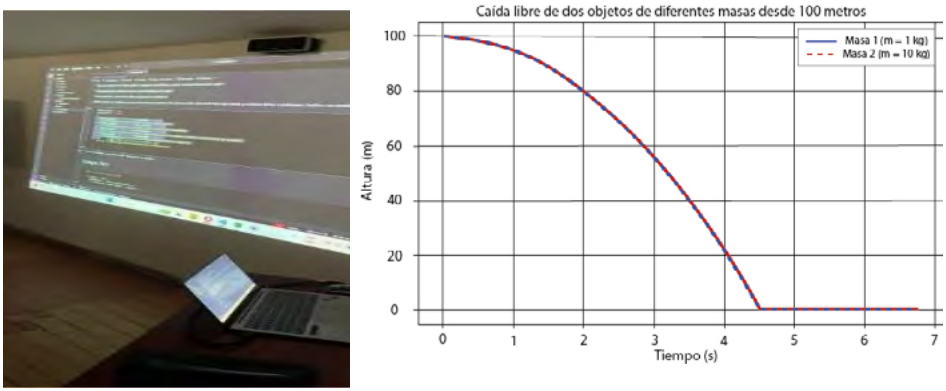
4.3 Modelación con apoyo de Python

Aunque los estudiantes tenían algunas nociones sobre programación y algoritmos en Python, se decidió hacer una introducción sobre su uso en el modelado en física. Para ello, se comenzó presentando el concepto de algoritmo, describiéndolo como una secuencia ordenada de pasos específicos que permiten resolver un problema. Posteriormente, se introdujeron los fundamentos necesarios para el modelado de la caída libre, abarcando conceptos básicos como tipos y asignación de variables, con el fin

[1] https://play.google.com/store/apps/details?id=de.dirkfarin.imagemeter&hl=es_CO&pli=1

de representar valores como posición y tiempo, la impresión de resultados para verificar cálculos, y el uso de bibliotecas clave como Matplotlib y Numpy, empleadas para graficar trayectorias y realizar cálculos numéricos. Es de aclarar que los bucles y los condicionales se exploraron a partir de un enfoque sobre su aplicación directa a la ecuación del movimiento de la caída libre.

Figura 6.4. *(a) Entorno de programación que usaron los estudiantes (Google Colab). Figura 4(b). Gráfica de altura respecto al tiempo de dos objetos con igual masa.*



a) b)

Fuente: elaboración propia.

En la tercera parte se estructuraron una serie de desafíos en los cuales los estudiantes debían hacer uso de todo lo aprendido para la modelación del fenómeno en casos específicos, tales como: 1. calcular y graficar la velocidad del objeto en función del tiempo, 2. calcular el tiempo que tarda un objeto en llegar al suelo desde diferentes alturas iniciales, 3. escribir un código que simule la caída de un objeto en diferentes planetas y, 4. simular la caída de dos objetos de masas diferentes.

Como parte de la fase final de la intervención, se diseñó un cuestionario abierto con el objetivo de recopilar las opiniones y percepciones de los estudiantes sobre el fenómeno trabajado y la ejecución del taller a partir de las siguientes preguntas: 1) ¿cómo describirías la evolución de tu comprensión sobre el fenómeno de la caída de los cuerpos a lo largo de los tres talleres?, 2)

¿de qué manera te ayudó la observación del fenómeno de la caída libre para formar tus ideas iniciales sobre la caída de los objetos?, 3) ¿cómo influyó la fotografía estroboscópica en tu forma de analizar el movimiento de los objetos en caída libre?, 4) ¿qué te pareció el proceso de modelar el fenómeno usando Python en el último taller?

5. Resultados y análisis de resultados

La consolidación de evidencias y el análisis de resultados se organizaron en torno a seis tendencias explicativas principales que reflejan la evolución conceptual de los estudiantes a lo largo de la intervención. A continuación, se presentan la síntesis en la tabla 6.1, las cuales se desarrollan enseguida. Para la presentación de los resultados se traen algunos ejemplos de evidencias basadas en las expresiones de los participantes, comparando la fase inicial con la fase final del proceso, esto acompañado de algunas imágenes que permiten interpretar el ambiente de la clase.

Tabla 6.*1. Categorías de análisis*

Categoría central	***Descripción breve***
Identificación de variables relevantes	Reconocimiento progresivo de factores como peso, forma, resistencia del aire, velocidad y aceleración.
Observación del movimiento y trayectorias	Evolución desde descripciones cualitativas intuitivas a interpretaciones basadas en evidencia visual comparativa.
Relación entre velocidad, aceleración y tiempo	Progresiva incorporación del concepto de aceleración y su influencia en el tiempo de caída hasta la toma de conciencia de la constancia de la aceleración.
Factores adicionales	Inclusión de elementos como rebote, material y resistencia del aire en las explicaciones.
Modelación computacional	Uso de Python para simular y analizar cuantitativamente el fenómeno, validando hipótesis y relaciones.
Transformación conceptual a partir de la modelación	Paso de explicaciones intuitivas a representaciones estructuradas con gráficos y ecuaciones.

Fuente: elaboración propia.

En síntesis, los resultados se ilustran en la tabla 2, en donde se ve el porcentaje de estudiantes que asumían cada uno de los indicadores de comprensión al comienzo y al final del proceso.

Tabla 6.2. *Porcentaje de estudiantes que denota la evolución de las tendencias explicativas a lo largo de la intervención.*

Tendencia explicativa	*Inicio de la intervención (%)*	*Final de la intervención (%)*
Peso como variable principal	60	15
Forma y resistencia del aire	40	85
Relación velocidad-aceleración-tiempo	10	80
Factores adicionales (aire, rebote, material)	20	70
Utilidad de la modelación computacional	15	85

Fuente: elaboración propia.

En general, luego de los debates finales con el grupo, se llegó a cuatro conclusiones que los estudiantes consideraron como lo más importante del fenómeno de la caída de los cuerpos: En general, luego de los debates finales con el grupo, se llegó a cuatro conclusiones que los estudiantes consideraron como lo más importante del fenómeno de la caída de los cuerpos:

- Los objetos en caída describen una trayectoria en línea recta, siempre y cuando la resistencia del aire o del medio no sea lo suficientemente fuerte como para alterar su trayectoria.
- La velocidad de los cuerpos en caída aumenta a medida que pasa el tiempo, es decir, el objeto se mueve más rápido conforme avanza la caída.
- La aceleración durante la caída de los cuerpos se mantiene constante, lo que significa que la velocidad del objeto aumenta de forma uniforme con el tiempo.
- En la mayoría de los casos, la aceleración es constante e independiente de la masa del objeto, pero factores como la forma del objeto y la resistencia del medio pueden influir en su movimiento.

5.1 Identificación de variables relevantes

Al inicio, la mayoría de los estudiantes atribuía el tiempo de caída al peso del objeto (60 %). Tras las fases de observación sistemática y modelación, aumentó el reconocimiento de la forma y la resistencia del aire como varia-

bles (85 %), evidenciando una transición de explicaciones intuitivas hacia interpretaciones más ajustadas a lo que observaron y analizaron.

Ejemplo de evolución conceptual:

Inicial: *"El balón cayó más rápido por ser más pesado."*
Final: *"La forma y superficie del objeto determinan la fricción con el aire, lo que influye en la caída."*

La modelación computacional permitió validar que, en ausencia de resistencia del aire, la masa no afecta el tiempo de caída, reforzando la comprensión de la aceleración gravitacional constante.

5.2 Observación del movimiento y las trayectorias

La observación directa y el uso de fotografía estroboscópica facilitaron el tránsito de descripciones generales a interpretaciones basadas en evidencia visual. El análisis colectivo y la construcción de gráficos con Python consolidaron la comprensión de la relación entre posición, tiempo y velocidad.

Inicial: *"Caen en línea recta."*
Final: *"La separación entre los puntos aumenta, lo que muestra aceleración."*

La modelación computacional permitió validar que, en ausencia de resistencia del aire, la masa no afecta el tiempo de caída, reforzando la comprensión de la aceleración gravitacional constante.

5.3 Relación entre velocidad, aceleración y tiempo

La comprensión de la relación entre estas variables evolucionó significativamente: sólo el 10 % de los estudiantes mencionaba la aceleración constante al inicio, mientras que, al final de la intervención, el 80 % lo hacía. Las simulaciones en Python y la comparación entre diferentes escenarios (por ejemplo, la caída en distintos planetas) permitieron visualizar cómo la

aceleración afecta la velocidad y el tiempo de caída, fortaleciendo la apropiación del concepto.

> Inicial: *"La caída del borrador fue más rápida porque es más pequeño y pesado."*
> Final: *"La secuencia en la fotografía estroboscópica muestra que el objeto recorre distancias más grandes cada vez, lo que significa que va más rápido."*
> Final: *"Nunca había pensado que la aceleración cambiara dependiendo del planeta, pero ahora entiendo cómo la gravedad afecta todo el movimiento."*

5.4 Factores adicionales

A lo largo de los talleres, los estudiantes integraron factores como el rebote, la resistencia del aire y las características del objeto en sus explicaciones. El porcentaje de menciones a estos factores pasó del 20 % al 70 %, mostrando una mayor complejidad en la interpretación del fenómeno. Las discusiones grupales y la reflexión sobre las diferencias entre el modelo ideal y la experiencia real enriquecieron el análisis.

> Inicial: *"Los objetos grandes caen más lento porque el aire los detiene más."*
> Final: *"El aire cambia todo porque, si no estuviera, todos los objetos caerían igual, sin importar su forma."*

5.5. Modelación computacional

La introducción de Python como herramienta de modelación permitió a los estudiantes representar y analizar cuantitativamente la caída de los cuerpos. El uso de gráficos y simulaciones facilitó la comprensión de relaciones matemáticas entre altura, tiempo y velocidad. La mención de la utilidad de la modelación para verificar conceptos pasó del 10 % al 85 % en el cuestionario final. Sin embargo, se identificaron dificultades técnicas, lo que resalta la necesidad de una introducción progresiva a estos recursos.

> Inicial: *No conocían este recurso.*
> Final: *"Usar Python para graficar nos ayudó a ver el tiempo real de caída en distintas alturas sin hacer todas las cuentas a mano."*

Final: *"Antes no entendía bien cómo cambia el tiempo con la altura, pero las gráficas me ayudaron a verlo claro."*

5.6. Transformación conceptual a partir de la modelación

El proceso de intervención evidenció una transición de explicaciones fragmentadas a interpretaciones integradas y fundamentadas. El reconocimiento de la aceleración constante y la resistencia del aire aumentó del 5 % al 75 %. Además, la percepción de la modelación computacional como herramienta de aprendizaje se incrementó del 15 % al 85 %. La mayoría de los estudiantes reconocieron el potencial de comprender la programación del fenómeno en Python para clarificar conceptos complejos y validar hipótesis experimentales.

6. Conclusiones

Frente a la pregunta de investigación: ¿cómo desarrollar el pensamiento físico matemático para lograr la comprensión del fenómeno de la caída de los cuerpos en el contexto de la educación secundaria? Se puede afirmar que el proceso de desarrollo del pensamiento físico matemático se estructura en tres fases: 1. abordaje fenomenológico (grabación y análisis de videos de caídas libres en diferentes configuraciones), 2. observabilidad del sistema (fotografía estroboscópica de las caídas, mediciones y graficaciones) y 3. modelación (programación de la caída libre con diferentes condicionantes), en donde se implementó la herramienta Python, la cual nos permitió identificar una evolución progresiva en la comprensión del fenómeno de la caída de los cuerpos por parte de los estudiantes de educación secundaria.

Inicialmente, la mayoría de los estudiantes atribuía el tiempo de caída únicamente al peso del objeto, pensaban que si era más pesado, este caería más rápido y otros pensaban que caería más despacio, sin embargo, a lo largo de la intervención se observó una transición hacia explicaciones que incorporaron variables como la forma, la resistencia del aire y la variación de la velocidad en cantidades iguales, con plena consciencia de que ello implica que el objeto recorre cada vez mayores distancias para unidades de tiempo iguales.

El análisis de las bitácoras, actividades experimentales y productos de modelación computacional evidenciaron que la integración de Python facilitó la verificación de relaciones dependientes y de la proporcionalidad entre altura, tiempo y velocidad, lo cual contribuyó a la construcción de modelos explicativos fundamentados. Los estudiantes lograron observar patrones en la trayectoria y la velocidad de caída de los objetos, comprendiendo que la aceleración durante la caída se mantiene constante para un mismo cuerpo, es decir, que la velocidad aumenta cada vez en la misma cantidad, precisamente porque la fuerza de atracción de la gravedad varía en función de la masa, y que factores como la resistencia del aire y la forma influyen en el comportamiento real de los objetos, pero que se pueden idealizar para lograr un modelo explicativo.

En síntesis, el estudio evidenció que el desarrollo del pensamiento físico matemático contribuye a que los estudiantes construyan explicaciones científicas más completas sobre la caída de los cuerpos, favoreciendo el desarrollo de habilidades para la observación, análisis, síntesis y argumentación de la ocurrencia de los fenómenos naturales. Cabe resaltar que todo ello tuvo su base en la propia transformación del discurso del docente-investigador, quien tuvo que leer, estudiar y reflexionar sobre su propia acción docente desde la apropiación del discurso del desarrollo del pensamiento físico matemático. Así, poco a poco fue encontrando nuevos sentidos para el aprendizaje y la enseñanza de la física.

Agradecimientos

Este trabajo es resultado del proyecto de investigación “Aportes a la construcción de nuevo conocimiento en torno al desarrollo del pensamiento didáctico científico del profesorado de física” financiado por la Oficina de Investigaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Referencias

Bernal, M.; Peña, L. K. (2023). Competencias investigativas: Modelización con Python para la enseñanza de física mecánica. Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias, 18(Especial).

Castiblanco, O. (2013). Uma estruturação para o ensino de didática da física na formação inicial de professores: contribuições da pesquisa na área. Tesis Doctoral, Universidade Estadual de São Paulo "Júlio de Mesquita Filho", Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Bauru, SP.

Castiblanco, O. (2023). La Dimensión Sociocultural de la Didáctica de las Ciencias: desde la formación de profesores de física. Editorial UD, Bogotá.
https://doi.org/10.69740/UD.9789587876468.9789587876475.9789587876482

Castiblanco, O. (2021). Tipologías de experimentación para la didáctica de la física. Ediçoes Hipotese.

Castiblanco, O.; Nardi. R. (2018). What and how to teach didactics of physics? An approach from disciplinary, sociocultural, and interactional dimensions. Journal of Science Education, v19, n1.

Castiblanco, O.; González, L. (2024). Training Teachers for New Ways of Understanding Physics Teaching from Its Mathematization. IJISME. International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education, 31(6), 70-83. https://doi.org/10.30722/IJISME.31.06.006

Castiblanco, O.; Nardi, R. (2023). Didáctica de la Física. Cultura Académica Editora, UNESP, Sao Paulo, Brasil, 3a Ed.

Castiblanco, O.; Vizcaíno, D. (2024a) Taking on a new meaning of physics mathematization for teaching in teacher education processes. Physics Education, 59 045012, 12 pp. https://doi.org/10.1088/1361-6552/ad422a

Castiblanco, O.; Vizcaíno, D. (2024b) Interaction in the Classroom Based on Typologies of Experiments and Mathematization in Physics Teaching. Revista Mexicana de Física. E 21 020208. pp.1-18. https://doi.org/10.31349/RevMexFisE.21.020208

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. American Journal of Physics, 66(1), 64-74. https://doi.org/10.1119/1.18809

Jhonson-Laird, P. (2010). Mental Models and Human Reasoning. Psychological and Cognitive Science. https://doi.org/10.1073/pnas.1012933107

Maldonado, D. S. (2025). Integración de la programación en Python en un proceso de desarrollo del pensamiento físico matemático en la enseñanza de la caída de los cuerpos. Trabajo de grado. Licenciatura en Física. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

McDermott, L. (1997). How we teach and how students learn-a mismatch? European Journal of Science Education, 2, 1-4.

Paramero, K. (2023). La interacción fenómeno-estudiante como base fundamental en el desarrollo del pensamiento científico. Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias, Número especial, v18, pp.1-11

Vizcaíno, D.; Terrazzan, E. (2020) Meanings of physics mathematization in pre-service physics teachers. Revista Lasallista, de investigación, v17, n1.
https://doi.org/10.22507/rli.v17n1a8

DESARROLLO DE HABILIDADES COGNITIVAS

7. Desarrollo del pensamiento crítico en física mediante inteligencia artificial
Development of critical thinking in physics through artificial intelligence

Guillermina Ávila García*

DOI: https://doi.org/10.52501/cc.399.07

Resumen

Esta indagación tiene como propósito analizar el desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de nivel medio superior a través del uso de aplicaciones de inteligencia artificial (IA) en actividades teóricas y experimentales relacionadas con la enseñanza de la física. Esta propuesta se enmarca en el contexto de la cuarta revolución industrial, caracterizada por el uso intensivo de tecnologías como la IA, el aprendizaje automático y la fabricación digital, lo cual plantea nuevos desafíos para los sistemas educativos.

Asimismo, se reconoce que uno de los objetivos de la Agenda 2030 es fortalecer el conocimiento científico para afrontar problemáticas sociales diversas. Sin embargo, en el entorno escolar se ha identificado una tendencia creciente en los estudiantes al utilizar herramientas de IA para resolver problemas o justificar prácticas experimentales sin una apropiación crítica del conocimiento. La enseñanza de la física exige procesos de observación, medición, interpretación y validación de hipótesis que, al ser mediados por tecnologías inteligentes, pueden potenciar o limitar la construcción reflexiva del conocimiento. Por ello, este estudio, de corte cualitativo, se orienta al diseño, la implementación y el análisis de actividades didácticas que integran

* Doctora en Ciencias con Especialidad en Física Educativa. Instituto Politécnico Nacional, Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No. 11, México. e-mail: gavilag@ipn.mx

la IA con fines educativos, promoviendo procesos de argumentación científica e interacción significativa.

La investigación se centra en identificar en qué niveles los estudiantes desarrollan un pensamiento crítico, considerando las fases del modelo 5E, cuando se enfrentan a la experimentación de fenómenos físicos con apoyo de estas tecnologías, así como en comprender cómo la IA puede actuar como mediadora para generar aprendizajes.

Palabras clave: *comunicación, pensamiento crítico, inteligencia artificial, interacción social, generación de conocimiento.*

Abstract

This inquiry aims to analyze the development of critical thinking in high school students using Artificial Intelligence (AI) applications in theoretical and experimental activities related to physics education. This proposal is framed within the context of the fourth industrial revolution, characterized by the intensive use of technologies such as AI, machine learning, and digital manufacturing, which presents new challenges for educational systems. Furthermore, it's recognized that one of the 2030 Agenda's objectives is to strengthen scientific knowledge to address diverse social problems. However, in the school environment, a growing tendency has been identified among students to use AI tools to solve problems or justify experimental practices without a critical understanding of the knowledge.

Physics education demands processes of observation, measurement, interpretation, and hypothesis validation that, when mediated by intelligent technologies, can either enhance or limit the reflective construction of knowledge. Therefore, this qualitative study focuses on the design, implementation, and analysis of didactic activities that integrate AI for educational purposes, promoting scientific argumentation and meaningful interaction.

The research focuses on identifying the levels at which students develop critical thinking, considering the phases of the 5E model, when experimenting with physical phenomena supported by these technologies,

as well as understanding how AI can act as a mediator for knowledge generation.

Keywords: *communication, critical thinking, artificial intelligence, social interaction, knowledge generation.*

1. Introducción

En años recientes se ha enfatizado en el desarrollo del pensamiento crítico (PC) como habilidad del siglo XXI, considerando el aprendizaje a través del análisis de textos y materiales educativos, incluso la aplicación del conocimiento a situaciones nuevas, tomando en cuenta la interactividad entre pares, la participación, el trabajo colaborativo y la comunicación efectiva (Sosa *et al.*, 2024).

En el estudio de la ciencia es imprescindible argumentar, entre otras habilidades, tal como lo expresa el plan y programa de estudios (IPN, 2008) del Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No. 11 (CECyT 11) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), que indica en su enfoque teórico experimental la necesidad de reflexionar sobre los fenómenos naturales, facilitando los procedimientos empíricos, deductivos e inductivos tanto para la aplicación de las leyes como para los principios de la física.

Rico-Gómez y Ponce Gea (2022) señalan que uno de los retos de la educación para el docente del siglo XXI es enfatizar el aprendizaje activo y participativo del sujeto, adquiriendo herramientas necesarias para integrarse en una sociedad que demanda individuos creativos y autorrealizables.

De este modo la pregunta de investigación que guía este trabajo es: ¿de qué manera el uso de aplicaciones de inteligencia artificial generativa en actividades teóricas y experimentales de física puede fomentar el desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de bachillerato, evitando una dependencia pasiva y promoviendo procesos activos de argumentación científica e interacción reflexiva?, considerando el objetivo de analizar el desarrollo del pensamiento crítico que presentan los estudiantes de bachillerato a través de las aplicaciones con inteligencia artificial (actividades teóricas y experimen-

tales) que permitan los procesos de argumentación científica, interacción y la generación de conocimiento reflexivo en temas de física.

2. Marco teórico

La IA se ha convertido en una herramienta muy prometedora en el ámbito de la educación, tanto para los docentes como para los alumnos, pues la IA ofrece numerosos beneficios, sin embargo, también plantea nuevos desafíos y, sobre todo, preocupaciones que deben ser abordadas de modo cuidadoso (Ibarra *et al.*, 2023). En esta investigación partimos de uno de los desafíos del uso de la IA.

En esta indagación se hizo uso de la IA de ChatGPT. Su integración en entornos educativos presenta una vía prometedora para mejorar la participación de los estudiantes y los resultados de aprendizaje (Kotsis, 2024), además de que el uso de ChatGPT se puede llevar a cabo en tiempo real, ofreciendo aclaraciones, respondiendo consultas y proporcionando comentarios personalizados sobre los experimentos realizados en el aula o dentro del laboratorio (Samara y Kotsis, 2024).

Una de las ventajas que ofrece el uso de la IA en la educación es que puede lograr la democratización al acceso a la información y los estudiantes pueden explorar el tema con mayor libertad, aunque se precisa la orientación y guía de los docentes.

Por otro lado, el enfoque del uso de ChatGPT en la realización de los experimentos, a la par con las preguntas asociadas con estos, resalta el papel de las interacciones dialógicas en la adquisición de conceptos, según Myklebust y Fagerbakke (2024), siempre y cuando se haya leído anticipadamente y no se limite sólo a la respuesta proporcionada por ChatGPT. Más aún, Walker (2024) expone que al combinar la asistencia de una IA en tiempo real con experimentos prácticos, los estudiantes no solo comprenden los conceptos teóricos con mayor firmeza, sino también cultivan un interés genuino en el proceso científico en sí, lo que subraya el potencial transformador de la tecnología en la educación.

3. Diseño didáctico en física moderna: modelo 5E, niveles de PC e integración de la IA

En el contexto actual de la cuarta revolución industrial, la integración de tecnologías emergentes, como la Inteligencia Artificial (IA), en los procesos educativos representa una oportunidad para transformar la enseñanza de las ciencias. En particular, esto ocurre en el campo de la física, pues su carácter experimental y explicativo permite a los estudiantes construir significados profundos cuando se abordan fenómenos desde una metodología activa, reflexiva y centrada en la indagación.

El modelo instruccional 5E (enganchar, explorar, explicar, elaborar y evaluar) proporciona un enfoque que se sustenta en teorías del aprendizaje que proponen la construcción activa del conocimiento e integran coherentemente las etapas del proceso educativo desde la atención del estudiante hasta la evaluación crítica del conocimiento; en este caso, con la integración de la IA (Valentín *et al.*, 2024). Los niveles de pensamiento crítico considerados son los indicadores de capacidad: interpretación, análisis, evaluación, inferencia, explicación y autorregulación (Mastuti *et al.*, 2022). La tabla 1 articula las fases del modelo 5E con los procesos de pensamiento crítico mediado por IA, alineados a actividades didácticas experimentales en el aula de física. Este diseño busca favorecer un aprendizaje significativo, en el que los estudiantes no sólo comprendan los fenómenos, sino que los expliquen, los cuestionen y sean capaces de proponer soluciones con base en evidencias y razonamientos lógicos.

Tabla 7.1. *Articulación del modelo 5E con los procesos de pensamiento crítico mediado por IA.*

Fase del modelo 5E	***Actividades propuestas***	***Procesos de pensamiento crítico e integración de la IA***
Enganchar	Foro inicial: ¿cómo está constituido el universo? Foro inicial: ¿cómo está constituido el universo?	Activación de conocimientos previos, uso de IA para plantear preguntas e hipótesis.
Explorar	Glosario de partículas, consulta de conceptos en clase y en foros virtuales.	Observación, recolección de datos, confrontación de ideas previas con apoyo de la IA.

Explicar	Lectura de *Los viajes de Gulliver; Superman,* discusión en foros.	Argumentación y justificación con apoyo de IA, análisis de información y construcción de explicaciones.
Elaborar	Actividad experimental: la máquina de niebla.	Aplicación de conceptos, inferencia causal, generación de soluciones, interpretación de resultados.
Evaluar	Informe de actividades experimentales e interactividad con IA.	Autoevaluación del aprendizaje, reflexión metacognitiva, emisión de juicios basados en evidencias.

Fuente: elaboración propia.

4. Metodología

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, adoptando un diseño secuencial exploratorio. Participaron dos grupos de sexto semestre integrado por 40 estudiantes, quienes intervinieron activamente en todas las actividades propuestas.

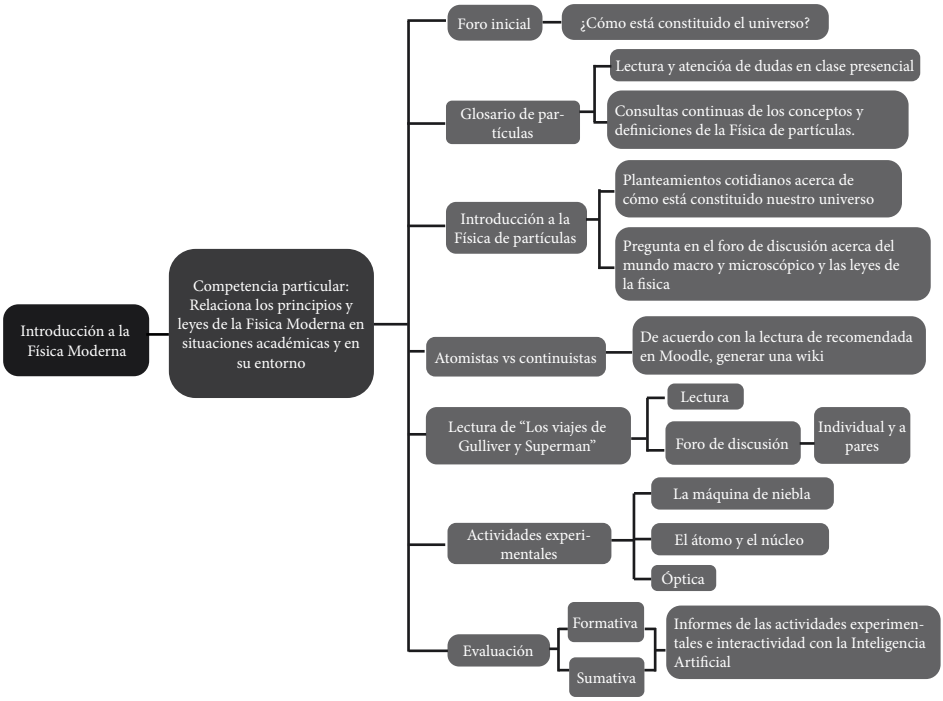
El análisis se centró en los argumentos construidos por los estudiantes al responder preguntas con base en el experimento, así como en la interpretación de tablas y gráficas generadas a partir de los datos obtenidos en experimentos físicos. La secuencia didáctica estuvo sustentada en la integración de tres elementos clave: el uso de la inteligencia artificial (IA), la experimentación y la enseñanza de la física.

Esta propuesta se alinea con el modelo integral de secuencia de aprendizaje, destacando que dichas secuencias deben ser diseñadas por el docente para organizar situaciones de aprendizaje significativas, tanto dentro como fuera del aula, con el objetivo de fortalecer el aprendizaje con recursos digitales (Ortiz *et al.*, 2020). En este caso, esto se lleva a cabo mediante la plataforma polivirtual del Instituto Politécnico Nacional (IPN) en el entorno virtual de aprendizaje Moodle.

El proyecto se realizó en coordinación con la Dirección de Educación Virtual (DEV) del IPN, instancia que promueve y asesora la construcción de propuestas pedagógicas innovadoras mediante el uso de tecnologías digitales. En este marco, se dio continuidad a la tesis doctoral de Ávila (2022), quien argumenta que es necesario abordar temáticas en línea en paralelo al modelo presencial para estimular el pensamiento crítico del alumnado.

En la figura 1 se muestra el esquema de actividades realizadas con base en los lineamientos establecidos por la DEV para su integración y operación dentro del aula virtual Moodle.

Figura 7.1. *Esquema de actividades alojadas en la plataforma Moodle.*



Fuente: elaboración propia

5 Resultados

Los niveles de pensamiento crítico alcanzados por los estudiantes fueron evaluados a partir de las actividades desarrolladas en torno a la construcción y el análisis experimental. Para garantizar la validez del análisis, se consideraron tres evaluaciones independientes: la de la profesora responsable de la actividad, la de una profesora invitada de física del CECyT 11 que no participó en el diseño, y la de una investigadora externa con experiencia en didáctica de la física. La triangulación de estas valoraciones permitió clasificar a los estudiantes en tres niveles de logro: alto, medio y bajo. La tabla 2

presenta la distribución de los estudiantes según estos niveles, considerando la media general del grupo y los consensos alcanzados entre las tres evaluadoras.

Tabla 7.2. *Triangulación de las evaluaciones realizadas.*

Nivel de logro	***Número de estudiantes***	***Rango de puntuación total***	***Niveles de pensamiento crítico (Facione, 1990)***	***Relación con fases del modelo 5E***
Alto	5	17-18	Interpretación, análisis, evaluación, inferencia, explicación y autorregulación (con dominio avanzado en todas)	Explicar y elaborar: articulan explicaciones fundamentadas, validan resultados experimentales, reflexionan críticamente sobre sus hallazgos.
Medio	17	14-16.5	Dominio parcial en interpretación, análisis, evaluación e inferencia; mínima autorregulación	Explorar y explicar: interpretan fenómenos y formulan hipótesis, aunque con limitaciones en la integración crítica de la evidencia.
Alto	18	< 14	Pensamiento mecánico o reproductivo; débil o nula autorregulación; escasa o fragmentada interpretación y evaluación	Explorar (limitada) y enganchar: muestran curiosidad inicial, pero sin consolidar aprendizajes significativos ni argumentación fundamentada.

Fuente: elaboración propia

Nota: Nivel Alto (17.0 – 18.0 puntos): los estudiantes muestran una apropiación crítica del conocimiento, argumentan con coherencia, y articulan sus hallazgos con base en la experimentación y la discusión académica. Nivel Medio (14.0 – 16.5 puntos): los estudiantes comprenden y aplican el conocimiento, aunque presentan limitaciones en la argumentación o en la integración crítica de los datos. Nivel Bajo (menor a 14.0 puntos): los estudiantes tienden a reproducir información sin una elaboración conceptual profunda y no logran establecer vínculos sólidos entre el experimento, la teoría y sus propias conclusiones.

El análisis muestra que los mayores niveles de pensamiento crítico emergieron durante las fases de elaboración y evaluación del modelo 5E, donde los estudiantes debieron confrontar la información generada por la IA con los datos obtenidos experimentalmente.

6. Conclusiones

La presente investigación evidenció que el uso intencionado de aplicaciones de inteligencia artificial, articulado con el modelo didáctico 5E, puede fomentar el pensamiento crítico en estudiantes de bachillerato al abordar actividades teóricas y experimentales en física. Lejos de promover una dependencia pasiva, la IA actuó como estimulador del aprendizaje reflexivo cuando fue acompañada por estrategias pedagógicas que incentivaron la argumentación y la validación empírica.

El análisis muestra que los mayores niveles de pensamiento crítico emergieron durante las fases de elaboración y evaluación del modelo 5E, donde los estudiantes debieron confrontar la información generada por la IA con los datos obtenidos experimentalmente, lo cual favoreció procesos activos de interpretación, revisión de evidencias y construcción de conclusiones. Sin embargo, el desarrollo del pensamiento crítico no fue homogéneo, pues sólo los estudiantes que interactuaron críticamente con la IA, guiados por una mediación docente intencionada, lograron apropiarse del conocimiento. Así, la IA puede ser una aliada poderosa en la formación científica, siempre que se integre de forma pedagógicamente reflexiva.

Agradecimientos

La autora de este capítulo agradece el apoyo financiero de la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional a través del proyecto con registro SIP: 20241591, cuyo respaldo fue fundamental para el desarrollo de este trabajo.

Referencias

Ávila, G. (2022). Modelo B-Learning mediante Moodle y su impacto en el proceso de aprendizaje de Física Moderna en el bachillerato IPN. (Tesis doctoral no publicada).

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México.

Ibarra, R. L., Caro, J. L., y Pérez, M. N. (2023). Inteligencia artificial en la educación. Revista Digital de Tecnologías Informáticas y Sistemas, 7(1), 100-106. https://doi.org/10.61530/redtis.vol7.n1.2023.136.100-106

Instituto Politécnico Nacional. (2008). Plan y Programa de Estudios 2008. https://deinac.com/PROGRAMAS/programa%20sint%C3%A9tico%20fisica%204.pdf

Kotsis, K. T. (2024). ChatGPT as teacher assistant for physics teaching. EIKI Journal of Effective Teaching Methods, 2(4). https://doi.org/eiki/10.59652/jetm.v2i4.283

Mastuti, A. G., Abdillah, A., Sehuwaky, N., y Risahondua, R. (2022). Revealing students' critical thinking ability according to facione's theory. Al-Jabar: Jurnal Pendidikan Matematika, 13(2), 261-272. http://ejournal.radenintan.ac.id/index.php/al-jabar/index

Myklebust, H., y Fagerbakke, I. M. (2024). Taking a dialogic stance in interaction with the youngest children – Supporting concept learning and child agency. Learning, Culture and Social Interaction, 47, 100825. https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2024.100825

Ortiz, E., Reyes, M., Ortega, S., y Valenzuela, S. J. (2020). Modelo de una secuencia didáctica con enfoque integral. En Barraza. Modelos de secuencias didácticas (pp. 44-66). Universidad Pedagógica de Durango.

Rico-Gómez, M. L., y Ponce Gea, A. I. (2022). El docente del siglo XXI: perspectivas según el rol formativo y profesional. Revista Mexicana de Investigación Educativa, 27(92), 77-101.

Samara, V., y Kotsis, K. T. (2024). Use of artificial intelligence in teaching the concept of magnetism in preschool education. Journal of Digital Educational Technology, 4(2), ep2419. https://doi.org/10.30935/jdet/14864

Sosa, N. C. T., Iza, C. A., Castro, C. M. S., y Herrera, L. A. L. (2024). Desarrollo de Habilidades del Siglo XXI a Través del Uso de las TIC: Pensamiento Crítico, Creatividad y Resolución de Problemas. Reincisol, 3(6), 4471-4484.

Valentín, T. F., Matos, L. M., Carbajal, A. I., Bernaldo, L. K., Cárdenas, M. M., Alvarez, J. R., y Gonzales, J. T. (2024). The 5E instructional model in the meaningful learning of Science and Technology. En Frontiers in Education (Vol. 9, p. 1435530). Frontiers Media SA. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1435530

Walker, R. (2024). ChatGPT in the classroom for harnessing AI to revolutionize elementary, middle, and high school education: Innovative strategies for teachers to enhance learning and curriculum with hundreds of artificial intelligence prompts. Legendary Editions.

8. Aprendiendo principios de física cuántica con filosofía: valoraciones cualitativas sobre su efecto en el pensamiento crítico

Jesús Diego Tuero-O´Donnell Zulaica*
Pamela Geraldine Olivo Montaño**

DOI: https://doi.org/10.52501/cc.399.08

Resumen

Este trabajo expone los primeros resultados cualitativos de una investigación comenzada en 2023, que pretende valorar la evolución del pensamiento crítico ante una estrategia filosófica dirigida hacia el aprendizaje de los principios básicos de la física cuántica entre estudiantes de ingeniería colombianos. Para ello, se diseñó una secuencia didáctica siguiendo el marco filosófico de Sumiacher y las indicaciones de la Red Interamericana de Educación Docente (RIED), basadas en la taxonomía de Bloom. Dicha secuencia consiste en diez unidades a desarrollar durante cuatro semanas, que incluyen recursos audiovisuales, lecturas de artículos de divulgación y debates socráticos, evaluándose el desempeño mediante el análisis de contenido dirigido (estudio cualitativo con categorización preasignada) de las respuestas a las preguntas abiertas distribuidas en cada sesión. Tras unas pruebas piloto, el examen se centró en el estudio de las habilidades de pensamiento crítico más elevadas, es decir, análisis, síntesis y evaluación, para adaptarse mejor a la estrategia filosófica empleada. El instrumento fue validado por expertos, con 21 preguntas

* Doctor en Ciencias en Física Educativa por el Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: https://orcid.org/0009-0008-4416-4417

** Doctora en Filosofía de la ciencia con especialización en Comunicación Pública de la ciencia por la Universidad Nacional Autónoma de México, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2882-3626

abiertas, siete por cada habilidad examinada. Las pruebas realizadas en 2024 indican que la estrategia contribuye al perfeccionamiento progresivo de las habilidades de análisis y síntesis, aunque la evaluación no fue concluyente. No se produjeron cambios conceptuales radicales, y hubo una coexistencia entre modelos de pensamiento clásicos y modernos. Un periodo más prolongado y la repetición de la experiencia podrían arrojar más luz sobre estos resultados.

Palabras clave: *pensamiento crítico, taxonomía de Bloom, filosofía, física cuántica, cambio conceptual.*

Introducción

La deserción en ingeniería responde a diversos factores (Aroca *et al*., 2021), entre ellos, la escasa consolidación del pensamiento crítico, cuyo limitado desarrollo afecta el desarrollo de competencias científicas clave (Alias *et al*., 2022). Debido a esto, se requieren estrategias pedagógicas innovadoras que superen las prácticas ineficaces habituales (Escobar-Moreno y Ramírez-Diez, 2023). En este contexto, la investigación se articula en torno a la siguiente pregunta: ¿cómo se modifican las habilidades de pensamiento crítico de estudiantes de ingeniería del caribe colombiano cuando, durante cuatro semanas, la filosofía se emplea como recurso didáctico central para introducir la dualidad onda–partícula de la física cuántica? La elección de este contenido resulta pertinente porque la física cuántica presenta notorias dificultades conceptuales, entre ellas la de relacionar su formalismo matemático con la realidad física, lo que obstaculiza el aprendizaje inicial (Bouchée *et al*., 2022). Además, su tratamiento epistémico favorece tanto la reflexión filosófica como los cambios conceptuales y de paradigma, propios de la física moderna (Stadermann y Goedhart, 2020).

Antecedentes y marcos teórico

La investigación se basó en la didáctica filosófica de Sumiacher (2016), centrada en la reflexión previa, el diálogo socrático y el cierre reflexivo, que son

conducidos para detectar cambios conceptuales (Moreira y Greca, 2003) y la evolución del pensamiento crítico. Este último se abordó desde la taxonomía de Bloom (1990) —conocimiento, comprensión, aplicación, análisis, síntesis y evaluación— complementada por el marco teórico de Cano y Álvarez (2020), que retoma y aplica dicha clasificación en contextos afines.

Para la enseñanza teórica de la física cuántica, se tomó como referencia la revisión de Okon (2014), que contextualiza los modelos estándar y alternativos. La literatura reciente, relativa a la enseñanza de la física cuántica, presenta diversas propuestas didácticas con metodologías e instrumentos propios (Waitzmann *et al.*, 2024; Tereshchuk *et al.*, 2023; Bentaleb *et al.*, 2022; Susilawi *et al.*, 2022; Bøe y Viefers, 2021; Stadermann y Goedhart, 2020), aunque el enfoque filosófico suele ser superficial, salvo en estudios como el de Tereshchuk *et al.* (2023), que hacen uso del racionalismo crítico y el método hipotético–deductivo como vía para un aprendizaje reflexivo y transferible a otras asignaturas de física.

Metodología

Se desarrolló una investigación longitudinal cualitativa con análisis de contenido dirigido (codificación deductiva), a partir del diseño de una secuencia didáctica con orientación filosófica (Sumiacher, 2016), la cual fue aplicada durante cuatro semanas en la asignatura "ondas y física moderna", a estudiantes de ingeniería de una institución colombiana. La secuencia de 10 sesiones integró recursos audiovisuales, lecturas de artículos de divulgación científica, debates socráticos y preguntas abiertas escritas. Para la planificación de las clases y la redacción de las preguntas, se siguieron las recomendaciones de la Red Interamericana de Educación Docente [RIED] (2015), a partir de su documento titulado Caja de Herramientas de Pensamiento Crítico, que se apoya en la taxonomía de Bloom. Inicialmente se incluyeron 40 preguntas abiertas, repartidas entre las diez sesiones, más un test recopilatorio final.

Dos pruebas piloto realizadas en 2023 (Tuero-O´Donnell, 2024) permitieron delimitar el estudio a los niveles superiores de pensamiento crítico (análisis, síntesis y evaluación), al comprobarse que la estrategia filosófica

no favorecía de forma suficiente las habilidades inferiores, pues requerían otros recursos. También se excluyó la prueba final recopilatoria por no ser útil para examinar la evolución entre sesiones. El instrumento, validado por jueces expertos y con análisis estadístico mediante el índice V de Aiken, fue ajustado hasta llegar a su versión definitiva de 21 preguntas abiertas, distribuidas en partes iguales entre las tres habilidades. La ficha técnica y la presentación interactiva de las sesiones (accesible esta última para los estudiantes) están disponibles, respectivamente, en estos enlaces: ficha técnica de la secuencia y presentación para estudiantes.

El análisis cualitativo de las respuestas a los cuestionarios se llevó a cabo mediante una categorización preasignada a partir de las ideas recogidas por Bloom (1990), junto con el marco teórico empleado por Cano y Álvarez (2020), que también hace uso de esa clasificación en un contexto socio-cultural similar al de esta investigación. El resultado se expresa en forma de un libro de códigos (tabla 1), con el que se codificaron las respuestas dadas por los estudiantes, haciéndolo de manera exhaustiva (no quedaron respuestas por codificar) y no excluyente (aceptándose más de una codificación por respuesta).

Tabla 8.1 Asignación de categorías y códigos para el análisis cualitativo de pensamiento crítico

Niveles de pensamiento crítico	***Categorías principales***	***Códigos principales***	***Subcategorías y subcódigos***		
			Para abstraer	***Para generalizar***	***Para inferir***
Análisis	- De elementos -De relaciones -De principios	AE AR AP	AEA ARE APE	AEG ARG APG	AEI ARI API
			Para recopilar	***Para predecir***	***Para concluir***
Síntesis	-En la comunicación -En la producción de un plan -En la derivación de relaciones abstractas	SC SP SA	SCR SPR SAR	SCP SPP SAP	SCC SPC SAC
			Para valorar	***Para criticar***	***Para argumentar***
Evaluación	-Según criterios internos -según criterios externos	-EI -EE	EIV EEV	EIC EEC	EIG EEG

Nota. Cada código tiene tres letras: la primera indica el nivel principal (A: para análisis; S: para síntesis; y E: para evaluación); la segunda letra indica la categoría principal en la que se divide el nivel; mientras que la tercera letra indica la subcategoría en la que se divide la categoría principal. Por ejemplo, ARI: análisis de relaciones para inferir; SCC: síntesis en la comunicación para concluir; EIV: evaluación según criterios internos para valorar, etc.

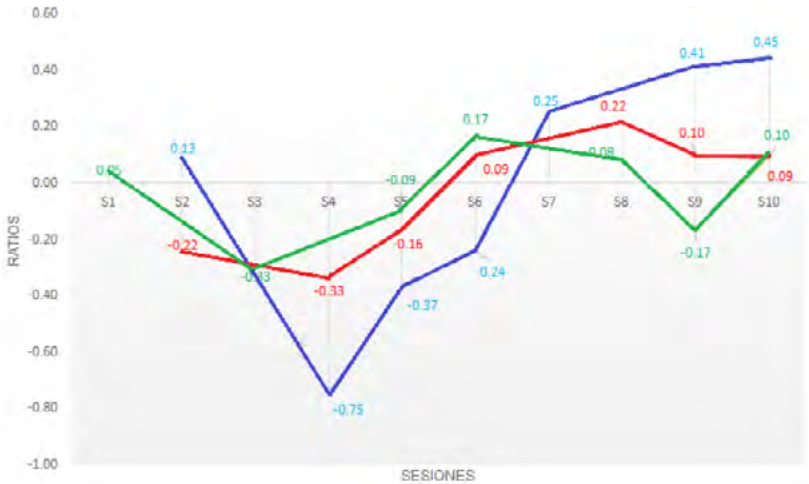
A cada categoría se le añadió una codificación adicional: COD (+) para respuestas profundas o acertadas, y COD (–) en caso contrario. La categorización, realizada con Atlas.ti, permitió calcular un ratio por sesión, r, a partir de dichas respuestas:

$$r = \frac{COD(+) - COD(-)}{COD(+) + COD(-)}$$

Resultados

La categorización de las respuestas estudiantiles en 2024 permitió calcular los ratios mostrados en la figura 1, los cuales, junto con los informes recogidos en cada sesión, facilitaron una valoración preliminar de la evolución del pensamiento crítico bajo la estrategia filosófica.

Figura 8.1: evolución de los ratios de pensamiento crítico



Fuente: elaboración propia.

Habilidad de análisis

La dificultad para llevar a cabo generalizaciones e inferencias rigurosas se dejó ver desde el comienzo, con reticencias a interpretar críticamente los contenidos examinados. En la segunda sesión, se produjo una caída abrupta en el rendimiento, al analizar un artículo sobre la influencia de la tesis doctoral de Louis de Broglie en el pensamiento de Einstein. Este descenso no resulta inesperado, considerando la mayor complejidad temática y la menor posibilidad de formular inferencias sin incurrir en errores. Las dificultades para realizar abstracciones se tradujeron en una cantidad significativa de codificaciones negativas, lo que limitó la calidad del razonamiento durante el debate socrático. Los estudiantes aceptaron con pasividad las nuevas propuestas, sin lograr un análisis riguroso del texto, principalmente por la dificultad para identificar los principios subyacentes en las ideas de De Broglie y Einstein, llegando, incluso, a confundir los planteamientos de cada uno. Sin embargo, el desarrollo de las sesiones posteriores mostró un incremento sostenido del ratio, con una tendencia a la consolidación del pensamiento analítico en las tres últimas sesiones, principalmente por la mejora significativa en la habilidad de análisis de principios.

Habilidad de síntesis

Desde las primeras intervenciones, se evidenciaron limitaciones en la capacidad de integrar ideas y comunicar razonamientos de manera sintética. La mayoría de los estudiantes encontró dificultades al debatir conceptos como la órbita estable del electrón en el átomo de hidrógeno. La escasa base teórica impidió articular adecuadamente la noción de onda estacionaria con la trayectoria orbital, obstaculizando la construcción de una representación coherente. Aunque algunos participantes lograron elaborar modelos conceptualmente adecuados, no pudieron expresarlos con suficiente claridad. Con el transcurso de la intervención, se observó una mejora progresiva en la capacidad de establecer relaciones abstractas y de formular conclusiones

más estructuradas. En las últimas dos sesiones se evidenció una leve disminución en el rendimiento, posiblemente atribuible a la mayor dificultad de los temas tratados. Aun así, la forma en que los estudiantes organizaron y articularon sus ideas al final del proceso fue metodológicamente coherente, incluso cuando las conclusiones no siempre resultaron correctas.

Habilidad de evaluación

Desde el inicio de la intervención se identificó una tendencia predominante al uso de criterios internos poco fundamentados, con argumentaciones escasamente desarrolladas. Esta limitación es comprensible en etapas tempranas del proceso, pero, a lo largo de las sesiones, no se evidenció una evolución sostenida del ratio. Fue común la evasión de respuestas o la formulación de juicios con escaso respaldo conceptual, reflejo de una inseguridad persistente en los principios básicos. Esta situación dio lugar a argumentaciones poco confiables, donde el uso de criterios externos resultó muy mecánico, mientras que el recurso a criterios internos derivó en valoraciones superficiales, evidenciando dificultades por la falta de conexión entre el nivel fenomenológico (los observables) y los modelos ontológicos (sus significados). En conjunto, estos resultados sugieren que, aunque se lograron avances en habilidades cognitivas de menor nivel, dichas mejoras no fueron suficientes para sostener un progreso consolidado en la habilidad de evaluación.

Discusión

La estrategia filosófica implementada generó efectos positivos en el desarrollo del pensamiento crítico, coherentes con lo reportado por Didiş y Pospiech (2024), quienes emplearon debates y la reflexión entre pares. El desplazamiento del foco desde el formalismo matemático hacia la problematización filosófica no menoscabó la resolución de ejercicios: esta constatación converge con las conclusiones de Bøe y Viefers (2021), quienes, además, desde una perspectiva sociocultural, subrayan la necesidad de profundizar en las reflexiones epistemológicas ante cuestiones complejas. No obstante,

dichos autores advierten —en línea con nuestros propios resultados— que la duración limitada de las intervenciones puede restringir la evaluación final de las transformaciones conceptuales, por lo que se recomiendan programas de mayor alcance temporal.

En cuanto a las habilidades de síntesis y evaluación, emergen matices diferenciados. El progreso observado en la integración de ideas y la planificación argumentativa coincide con los hallazgos de Doyan *et al.* (2022) en entornos mixtos presencial-virtual; sin embargo, la persistente dificultad para explicar fenómenos —vinculada a la intersección entre la evaluación y la comprensión— contrasta con dichos autores y reproduce la baja abstracción inicial descrita por Susilawati *et al.* (2022). La complejidad de articular la física cuántica con la experiencia cotidiana, destacada por Stadermann y Goedhart (2020), se manifiesta en la incapacidad de los estudiantes para vincular los resultados observacionales con los modelos teóricos. Adicionalmente, la tendencia a recurrir mecánicamente a criterios externos, sin una crítica profunda, converge con algunas de las observaciones epistemológicas de Patterson y Ding (2025). Además, las divergencias terminológicas sobre la naturaleza de los criterios internos y externos, no definidas igual por otros autores (Sauluis *et al.*, 2021), dificultan comparaciones más precisas. De igual forma, la ausencia de resultados diferenciados por habilidades específicas en el estudio de Tereshchuk *et al.* (2023) —quienes confirman la eficacia en el pensamiento crítico de un enfoque hipotético-deductivo durante el aprendizaje de la física cuántica— impide contrastar la evolución de habilidades específicas, como se hizo en la presente investigación, dificultando la comparación entre trabajos.

El análisis desde la óptica del cambio conceptual revela una marcada inercia de los paradigmas clásicos, coherente con la persistencia señalada por Bentaleb *et al.* (2022) en temas de medición cuántica que exigen altos niveles de abstracción. Aunque se detectan ajustes graduales en las estructuras conceptuales al examinar textos disciplinares, dichos desplazamientos reproducen los conflictos ontológicos descritos por Zuccarini y Malgieri (2024), caracterizados por intentos de asimilación mediante generalizaciones de conceptos previos. No se constatan, sin embargo, transformaciones ontológicas profundas en el sentido planteado por Chi y Slota (1993), pues el conflicto cognitivo activado aún resulta

insuficiente. Además, a pesar de la advertencia explícita de evitar analogías clásicas, los estudiantes continúan recurriendo a ellas sin reconocer sus limitaciones, fenómeno igualmente registrado por Vilarta-Rodríguez *et al*. (2025) y Bitzenbauer *et al*. (2024).

Limitaciones y trabajo futuro

El diseño de instrumentos para el aprendizaje de la física cuántica aún carece de consenso en la comunidad académica (McKagn *et al*., 2010), como se evidenció durante la validación del instrumento sobre pensamiento crítico. Lo mismo ocurre con la introducción arbitraria de la filosofía en estos cursos (Stadermann *et al*., 2019). Aunque queda pendiente un análisis cualitativo más profundo de las coocurrencias entre categorías, se reconoce que una intervención más prolongada podría ofrecer resultados más significativos. Además, se espera complementar el estudio con una segunda prueba que confirme estos hallazgos.

Conclusiones

La inclusión de estrategias filosóficas en la enseñanza de la física cuántica parece favorecer el desarrollo de habilidades de análisis y síntesis, sin embargo, su impacto en la habilidad de evaluación no ha resultado concluyente. Esta última capacidad parece depender mucho de la complejidad del problema abordado, pues los estudiantes no logran sostener un nivel argumentativo crítico, recurriendo con frecuencia a la repetición de leyes externas o a elucubrar sin mucho sentido, si lo hacen con argumentos internos. Así, las mejoras observadas en los niveles de análisis y síntesis no resultan suficientes, en un periodo de cuatro semanas, para consolidar la exigencia cognitiva que implica la más elevada habilidad en la taxonomía de Bloom –la evaluación–. Además, se evidencia una alternancia contextual de modelos mentales, sin que se produzcan transformaciones ontológicas profundas que permitan sustituir concepciones erróneas propias de la física clásica. Queda pendiente profundizar en el

análisis de coocurrencias entre categorías y replicar la experiencia para afianzar los hallazgos.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Instituto Politécnico Nacional por su apoyo a lo largo del desarrollo de esta investigación, la cual forma parte del proyecto: "Aspectos ontológicos y epistemológicos sobre entidades de la física moderna en el desarrollo de la comprensión conceptual y la argumentación". Registro SIP-20253791.

Referencias

Alias, A., Mohtar, L. E., Ayop, S. K. y Rahim, F. R. (2022). A Systematic Review on Instruments to Assess Critical Thinking & Problem-Solving Skills. Educatum Journal of Science, Mathematics and Technology, 9, 38-47. https://doi.org/10.37134/ejsmt.vol9.sp.5.2022

Aroca, S., Fonseca, L. y Borges, R. (2021). Análisis de supervivencia aplicado a la deserción en estudiantes de ingeniería. Noria Investigación Educativa, 1(7), 13-32. https://doi.org/10.14483/25905791.17359

Bentaleb, K., Dachraoui, S., Alibrahimi, E., Hassouni, T., Chakir, E. y Belboukhari, A. (2022). Development of a Survey to Assess Conceptual Understanding of Quantum Mechanics among Moroccan Undergraduates. European Journal of Educational Research, 11(4), 2219-243. https://doi.org/10.12973/eu-jer.11.4.2219

Bitzenbauer, P., Faletič, S., Michelini, M., Tóth, K. y Pospiech, G. (2024). Design and evaluation of a questionnaire to assess learners' understanding of quantum measurement in different two-state contexts: The context matters. Physical Review Physics Education Research, 20(2), 020136. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.020136

Bloom, B. S. (1990). Taxonomía de los objetivos de la educación (Décima ed.). El Ateneo.

Bøe, M. y Viefers, S. (2021). Secondary and University Students' Descriptions of Quantum Uncertainty and the Wave Nature of Quantum Particles. Science & Education, 32(2), 297-326. https://doi.org/10.1007/s11191-021-00297-w

Bouchée, T., de Putter-Smits, L., Thurlings, M. y Pepin, B. (2022). Towards a better understanding of conceptual difficulties in introductory quantum physics courses. Studies in Science Education, 58(2), 183-202. https://doi.org/10.1080/03057267.2021.1963579

Cano Vásquez, L. y Álvarez Barrera, L. D. (2020). Pensamiento Crítico: un marco para su

medición, comprensión y desarrollo desde la perspectiva cognitiva. Escuela de Educación y Pedagogía. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana. http://doi.org/10.18566/978-958-764-836-2

Chi, M. T. y Slotta, J. D. (1993). The ontological coherence of intuitive physics. Cognition and Instruction,, 10(2), 249-260. https://doi.org/10.1080/07370008.1985.9649011

Didiş, K. N. y Pospiech, G. (2024). Examination of students' quantum physics knowledge construction with peers and metacognitive evaluations. Physical Review Physics Education Research, 20(2), 020153. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.020153

Doyan, A. S. y Muliyadi, L. (2022). Effectiveness of quantum physics learning tools using blended learning models to improve critical thinking and generic science skills of students. Jurnal Penelitian Pendidikan, 8(2). https://jppipa.unram.ac.id/index.php/jppipa/article/view/1625/1186

Escobar-Moreno, F. y Ramírez-Diaz, M. H. (2023). Diseño, implementación y resultados de un taller para estudiantado reprobado de física universitaria en ingeniería química. Revista Electrónica Educare, 27(1), 42-67. http://dx.doi.org/10.15359/ree.27-1.14275

McKagan, S. B., Perkins, K. K., y Wieman, C. E. (2010). Design and validation of the quantum mechanics conceptual survey. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 6(2), 020121. https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020121

Moreira, M. A., Greca, I. M. (2003). Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. Ciência & Educação, 9(2), 301-315. https://www.scielo.br/j/ciedu/a/PT4qZyPn3vfHNdtzFMx8Zjx/?format=pdf&lang=es

Okon, E. (2014). El problema de la medición en mecánica cuántica. Revista mexicana de física E., 60(2), 130-140. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S187035422014000200007&script=sci_abstract&tlng=pt

Patterson, Z. y Ding, L. (2025). Epistemic framing analysis of secondary students during instruction on quantum physics. Physical Review Physics Education Research, 21(1), 010116. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.21.010116

Red Ineramericana de Educaicón Docente. (2015). Caja de Herramientas Pensamiento Crítico. Washington, D.C., EEUU: Red Interamericana de Educación Docente. OEA. https://oas.org/es/ried/PDF/Pensamiento%20Critico%20Caja%20de%20Herramientas.pdf

Saulius, T. y Malinauskas, R. K. (2021). Involvement of Critical Thinking Education in University Studies: A Qualitative Research. European Journal of Contemporary Education, 10(1), 113-126. https://doi.org/10.13187/ejced.2021.1.113

Stadermann, H. K. y Goedhart, M. J. (2020). Secondary school students' views of nature of science in quantum physics. International Journal of Science Education, 42(6), 997-1016. https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1745926

Stadermann, H. K. Van Den Berg, E. y Goedhart, M. J. (2019). Analysis of secondary school quantum physics curricula of 15 different countries: Different perspectives on a challenging topic. Physical Review Physics Education Research, 15(1), 0101301-01013025. https://doi.org/10.1103/

Sumiacher. (2016). La didáctica filosófica. En Á. A. Salas, Filosofía con niños y adolescentes. México: UNAM. https://cecapfi.com/descargas/SUMIACHER,%20D.,%20La%20dida%CC%81ctica%20filoso%CC%81fica.pdf

Susilawati, S., Doyan, A., Mulyadi, L. A. y Pineda, C. I. (2022). The effectiveness of modern physics learning tools using the phet virtual media assisted inquiry model in improving cognitive learning outcomes, science process skills, and science scientific creativity of prospective teacher students. Jurnal Penelitian Pendidikan IPA, 8(1), 291-295. https://doi.org/10.29303/jppipa.v8i1.1304

Tereshchuk, S., Sharov, S., Tereshchuk, A., Kolmakova, V. y Sharova, T. (2023). Critical thinking and hypothetic-deductive scheme for studying the elements of quantum theory. International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE), 12(3), 1497-1506. https://doi.org/10.11591/ijere.v12i3.25249

Tuero-O´Donnell Zulaica, J. D. (2024). Modificaciones en los niveles de pensamiento crítico, al emplear estrategias filosóficas en el aprendizaje de la dualidad onda-partícula: Avances para una para una próxima investigación cualitativa. En J. A. Flóres Cruz, & R. Sánchez Sánchez, Nuevas perspectivas de la investigación en física educativa (págs. 267-281). Comunicación Científica. https://doi.org/10.52501/cc.219.14

Vilarta Rodriguez, L., Van der Veen, J. T. y De Jong, T. (2025). Role of analogies with classical physics in introductory quantum physics teaching. Physical Review Physics Education Research, 21(1), 010108. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.21.010108

Waitzmann, M., Scholz, R. y Wessnigk, S. (2024). Testing quantum reasoning: Developing, validating, and application of a questionnaire. Physical Review Physics Education Research, 20(1), 010122. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.010122

Zuccarini, G. y Malgieri, M. (2024). Modeling and representing conceptual change in the learning of successive theories: The case of the classical-quantum transition. Science & Education, 33(3), 717-761. https://doi.org/10.1007/s11191-022-00397-1

9. Análisis de indicadores indirectos de rendimiento durante actividades específicas usando Emotiv Epoc X

Fabiola Escobar Moreno*
Clara Mayo Juárez**

DOI: https://doi.org/10.52501/cc.399.09

Resumen

La neuroeducación provee de información valiosa a los educadores para repensar y diseñar actividades retadoras y articuladas con procesos cognitivos en el aula. En relación con esta idea, en este estudio se pretendió analizar la actividad cerebral mediante indicadores indirectos de rendimiento relacionado con los procesos cognitivos en un estudiante de ingeniería mientras realizaba actividades concretas, utilizando una neuro herramienta: Emotiv Epoc X. Fue un estudio de caso, ya que se midió y registró la actividad cerebral de un estudiante de ingeniería con diagnóstico clínico de Asperger. Para este experimento se diseñaron actividades relacionadas con la estimulación de procesos cognitivos: pensamiento racional, recuperación de información, memoria de trabajo y atención. Se encontró que una actividad desafiante cognitivamente genera un mayor interés, en contraste, una actividad tradicional mostró niveles bajos de interés y estrés, reforzando la idea de que la pasividad, desde la neurociencia, no emociona al individuo para aprender.

* Doctora en Ciencias con especialidad en Física Educativa por el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8958-2075

** Doctora en Ciencias con especialidad en Matemática Educativa por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav) del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: https://orcid.org/0009-0002-0009-4196-3464

Introducción

La neuroeducación integra la neurociencia, la pedagogía y la psicología para comprender la relación entre cerebro y aprendizaje (Sánchez y Barba, 2019). De acuerdo con Colvin (2016), la neuroeducación destaca procesos neuronales: la sinaptogénesis, la poda sináptica y la neurogénesis, que son fundamentales para la plasticidad cerebral y el desarrollo de habilidades cognitivas, también conocidas como funciones ejecutivas que son necesarias para realizar tareas académicas complejas y para que un estudiante ejecute aprendizajes efectivos (Sánchez y Barba, 2019). Un desarrollo óptimo de estas funciones es clave para un aprendizaje efectivo.

La atención juega un papel crucial en el aprendizaje, permitiendo al cerebro enfocarse en diferentes estímulos mediante circuitos neurales especializados. Robertson *et al*., (1996) en su estudio, demuestran que existen diversos tipos de atención que se activan de forma independiente, lo que permite a los estudiantes mantener la concentración en actividades como matemáticas o la instrucción docente. En este sentido, los autores apuntan que la atención se considera una puerta de entrada al aprendizaje, afectando directamente los procesos de memoria.

Los educadores enfrentan el desafío de crear actividades emocionantes que fomenten este tipo de atención, como estudios de caso y cuentos didácticos, para mejorar la experiencia de aprendizaje de los estudiantes y conectar la emoción con el aprendizaje. Así, en palabras de Carballo y Portero (2019, p.9): "la atención es la puerta de entrada al aprendizaje y condiciona de forma crítica los procesos de aprendizaje y memoria". Sin embargo, algunos neurocientíficos, señala Villalobos (2015), aseveran que la atención está aparejada a la emoción y, por ende, se relaciona con el aprendizaje.

Tomando en cuenta las ideas anteriores, en torno a cómo las actividades permiten mantener la concentración y atención de los estudiantes, decidimos realizar un estudio con un enfoque neuro didáctico. El objetivo de esta investigación consistió en analizar la actividad cerebral mediante indicadores indirectos de rendimiento relacionado con los procesos cognitivos en un estudiante de ingeniería mientras realizaba actividades concretas, utilizando una diadema Emotiv Epoc X. La pregunta que orienta esta indagación

es: ¿cómo varían los indicadores de rendimiento registrados por la diadema Emotiv Epoc X durante la ejecución de actividades específicas en un estudiante universitario?

Contextualización de la neuroeducación

Quintero y Domínguez (2025) señalan que la rama científica encargada de explicar tanto la identificación y la relación que existe entre los estímulos provenientes de los órganos de los sentidos (oído, tacto, gusto, olfato y vista) con los niveles de activación cerebrales es la neurociencia. La neuroeducación, siendo una derivación de la neurociencia, invita a conocer cómo funciona el órgano donde se ejecutan los procesos que permiten que los seres humanos pensemos de forma creativa, tomemos decisiones, sintamos las emociones, el dolor; empero, el cerebro es un órgano que también necesita ejercitarse, de acuerdo con Bueno (2021). Así, la persona encargada de diseñar actividades para la ejercitación del cerebro mientras los individuos son estudiantes formalmente son los docentes.

Significación de la neuroeducación en el ámbito educativo

Se analiza que si las autoridades educativas, así como los y las docentes utilizáramos información neurocientífica en las aulas, conoceríamos lo relevante de diseñar experiencias que tiendan a estimular las funciones ejecutivas (procesos cognitivos). También los y las docentes sabrían que integrar actividades diversificadas, estimulantes y lúdicas incentivan mejores aprendizajes. Mediante el conocimiento de los principios de la neuroeducación, los docentes pueden identificar las funciones ejecutivas que demandan sus estudiantes para aprender un determinado tema, por ejemplo, el profesor de filosofía, historia, literatura, requiere de atención sostenida, el insumo, entonces, deben ser lecturas, y cuando los estudiantes no quieran realizarlas, se requiere de una estrategia que los obligará a hacer la lectura, como los anagramas, la lectura compartida, controles de lecturas, etcétera

Los y las docentes son los responsables de tomar decisiones sobre cuáles son las estrategias pertinentes (en términos de efectividad e interés) para sus

alumnos, sin embargo, la decisión debe respaldarse en evidencia científica respecto a cuáles actividades estimulan los procesos neuronales. Al respecto, Dzib (2013) señala que los procesos neuronales requieren actividades de instrucción y éstas constituyen el cimiento del aprendizaje. Es relevante asentar qué se entiende por actividades de instrucción, esto es, todas aquellas que se diseñan con un objetivo didáctico, están vinculadas a un programa y plan de estudios específico e implican la interconexión de otros conocimientos. Gkintoni y Dimakos (2022) señalan que la neurociencia ha enfatizado lo siguiente, el alumno que mejor aprende no es el que capta información, sino aquel que aplica lo que aprende a través de estímulos sensoriales.

Algunas propuestas didácticas con enfoque neuro educativo que muestran los beneficios de esto son las siguientes: la aplicación del modelo instruccional ADDIE por Escobar y Romero (2022) mejoró el aprendizaje de gráficas cinemáticas mediante procesos cognitivos específicos. Sulieman *et al.* (2024) también implementaron un enfoque neuro educativo para estimular la comprensión lectora a través de actividades como la lectura en voz alta, los debates y las críticas, logrando un aumento en dicha comprensión.

Müller *et al*. (2021) afirman que cuando las personas hacen actividades por sí mismas, como aprender algo, hay evidencia científica basada en imágenes de resonancia magnética funcional que acreditan la activación de distintas zonas del cerebro. Esta activación implica una comunicación entre las redes neuronales, como señalan algunas indagaciones (Sulieman *et al*., 2024; Müller *et al*., 2021). Las dos indagaciones anteriores muestran que el diseño de las actividades no emerge de las taxonomías cognitivas, sino de los procesos cognitivos que se pretenden estimular, esperando que se active una o varias partes del cerebro para que ocurran las interconexiones neuronales.

Procesos cognitivos

De acuerdo con Newen (2017), los procesos cognitivos se definen como:

> …procesos de transferencia de información que típicamente tienen lugar para conectar múltiples (o complejas) entradas informativas para formar un sistema cognitivo mínimamente flexible con un espectro de salidas

> conductuales mínimamente flexibles, donde estos procesos típicamente involucran (al menos un nivel mínimo de) uno de los siguientes procesos paradigmáticos como se describe en ciertas ciencias cognitivas con un método cognitivo: percepción, memoria, aprendizaje, emoción, intencionalidad, autorrepresentación, racionalidad y toma de decisiones o algo relevantemente similar a esto. (p.4257)

En este documento los procesos cognitivos que se pretendieron estimular fueron el pensamiento racional, la recuperación de información, la memoria de trabajo y la atención. Se entiende por pensamiento racional: "la capacidad de suprimir los procesos de pensamiento heurístico y anularlos con los sistemáticos" (Grimm y Richter, 2024, p.1). La recuperación de información se define como: "el proceso de adquirir elementos de información relevantes de un corpus predefinido para satisfacer las necesidades de información del usuario" (Zhang *et al*., 2024, p.1). Por su parte, la memoria de trabajo "…es la que guarda y procesa durante un breve tiempo la información que viene de los registros sensoriales y actúa sobre ellos y también sobre otros" (Etchepareborda y Abad, 2005, p. 80). Mientras que la atención es "…un medio por el cual la información de los sistemas perceptivos se vuelve accesible para la memoria de trabajo" (De Brigard y Prinz, 2010, p. 53).

"La electroencefalografía (EEG) es la medición continua de la actividad eléctrica generada por las neuronas que se activan en el cerebro, la EEG es una de las herramientas neurocientíficas más populares para académicos y profesionales médicos debido a su no invasividad y facilidad de uso" (Sabio *et al*., 2024).

Las seis métricas (datos electroencefalográficos) evaluadas por el dispositivo utilizado en este experimento —interés, excitación, compromiso, enfoque, estrés y relajación— son representadas gráficamente como indicadores indirectos del rendimiento. Según Emotiv (2025), el interés se refiere al "grado de atracción o aversión hacia los estímulos, el entorno o la actividad actual". La excitación se define como "una percepción o sensación de activación fisiológica con un valor positivo". El estrés es descrito como "una medida de la comodidad ante el desafío actual", mientras que el compromiso corresponde al "nivel de inmersión en el momento presente, resultado de la

combinación entre atención y concentración". El enfoque se entiende como la "profundidad de la atención y la frecuencia con la que se alterna entre tareas". Finalmente, la relajación hace referencia a la "capacidad de desconectar y recuperarse tras una concentración intensa". Cada métrica se computa en una escala de 0 a 100. Por su parte, para analizar la información de las seis métricas se establecen tres rangos: del 0 al 30 se considera bajo; del 31 al 69 medio y del 70 al 100 alto.

En este documento, en el apartado correspondiente se reportan los valores de las escalas provenientes de los registros gráficos de los indicadores indirectos de rendimiento que proporciona Emotiv Epoc X, ya que, si se interpretan los potenciales o las frecuencias de las señales, primero se requieren técnicas especializadas para capturar la naturaleza variable de las señales de EEG, así como también se requiere una formación médica y técnica, específicamente en neurología con conocimiento del procesamiento de señales eléctricas (Chaddad, *et al.*, 2023). Si bien existen investigaciones previas en el ámbito educativo sobre procesos cognitivos (Liu *et al.*, 2022; Marty *et al.*, 2021; Slattery *et al.*, 2024), algunas coinciden en las limitaciones de las mediciones, ya que las mediciones están basadas en la observación del investigador y en la autoevaluación de los estudiantes, es decir, no utilizan neuro herramientas (Rosengrant, *et al.*, 2021).

Neuro herramientas

En este documento se entiende como neuro herramientas aquellos dispositivos que apoyan la medición de la actividad cerebral. En esta indagación se utilizará el dispositivo Emotiv Epoc X, el cual registra y detecta la actividad eléctrica cerebral, por lo tanto, se considera el dispositivo Emotive Epoc X una neuro herramienta. Se decidió adquirir este dispositivo porque es de costo asequible y de operación básica, asimismo, su uso no requiere un conocimiento especializado. No obstante, para asegurar la transparencia metodológica, y por ende la integridad y credibilidad de esta investigación, se precisa que los datos de los indicadores de rendimiento que se reportan en este estudio no derivan de lo señalado por la EEG, sino que provienen de los algoritmos internos del dispositivo Emotiv Epoc X. De acuerdo con las especificaciones del fabricante del dispositivo, estas métricas se generan

por clasificadores de machine learning que procesan las señales para inferir los estados cognitivos (Emotiv, 2025a). No obstante, este proceso implica obligatoriamente un preprocesamiento y la limpieza de la señal, aunque esos detalles sobre los filtros y algoritmos que usa el software no se explican ni transparentan por parte del fabricante de Emotiv Epoc X. Al respecto, es cierto que si bien la salida de los resultados automatizada facilita la usabilidad de la herramienta, igualmente constituyen una limitante para esta investigación, porque nuestros hallazgos dependen de algoritmos de una "caja negra". Es por ello que los datos que se reportan en este documento son de carácter exploratorio y se denominan indicadores indirectos.

Instrumentos

Para este experimento se utilizó un dispositivo de nombre: Emotiv Epoc X, el cual se ha creado para la investigación escalable y contextual del cerebro humano, proporcionando acceso a datos cerebrales de calidad profesional con un diseño que no es invasivo y es fácil de usar. Asimismo, los datos proporcionados por el dispositivo son útiles para investigaciones que impliquen al cerebro en un uso académico y comercial (Emotiv, 2025b). Las particularidades de la Emotiv Epoc X son: EEG de 14 canales para la detección de todo el cerebro. Una diadema giratoria para una portabilidad máxima y electrodos a base de solución isotónica, con un diseño ergonómico y fácil de rehidratar.

Metodología

Esta es una investigación descriptiva, ya que su interés consiste en identificar cómo las actividades didácticas inciden en los procesos cognitivos (Martínez, 2006). El método de investigación es un estudio de caso, debido a que se pretendió registrar y medir la actividad cerebral de una persona (por lo tanto, no tiene pretensiones de generalización), relacionada con procesos cognitivos. Además, se pretende responder una pregunta vinculada al cómo se analiza un fenómeno complejo como los procesos cognitivos (Bisquerra, 2009). Asimismo, debido a que las señales de EEG son disímiles entre sujetos debido a diferencias en el grosor del cráneo, la conductividad y la es-

tructura cerebral, la comparación de las señales es complicada y hasta infructuosa, ya que los datos entre sujetos siempre serán diferentes (Chaddad *et al*., 2023).

En el apéndice 1 se describen a detalle todas las fases en las que se desarrolló este estudio de caso, así como las características del sujeto de estudio.

Diseño del experimento

El periodo de 6 minutos por actividad se seleccionó considerando la estabilidad de las señales registradas por dispositivos EEG portátiles, como Emotiv Epoc X, y su capacidad para captar patrones neurofisiológicos representativos en tiempos reducidos. Este lapso es consistente con estudios previos que han demostrado que periodos de 5-10 minutos son adecuados para analizar estados cognitivos y emocionales (Gobbo *et al*., 2024), minimizando efectos de fatiga y garantizando la eficiencia en el diseño experimental. Además, este tiempo permite un equilibrio entre la recopilación de datos robustos y la comodidad de los participantes durante el experimento. Asimismo, se estableció la condición de alta atención, es decir, la realización de actividades sin distracciones y la minimización de ruido ambiental.

Materiales e instrumentos

Se utilizaron una computadora portátil, cuya función fue grabar los datos electroencefalográficos; un dispositivo Emotiv Epoc X, con su correspondiente kit de uso; también se usó una carta de consentimiento que detalla los objetivos y la descripción del proyecto de investigación. Dicha carta fue firmada por el participante donde, de acuerdo con la ley, se establece que es mayor de edad, por tanto, la participación fue voluntaria y el compromiso de las autoras de esta indagación fue el anonimato y el uso de los datos con fines académicos y de investigación, siguiendo las guías de ética en los procesos de indagación auspiciados por el Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOMS) y World Health (WHO), 2016. Se utilizaron una computadora portátil, cuya función fue grabar

los datos electroencefalográficos; un dispositivo Emotiv Epoc X, con su correspondiente kit de uso; también se usó una carta de consentimiento que detalla los objetivos y la descripción del proyecto de investigación. Dicha carta fue firmada por el participante donde, de acuerdo con la ley, se establece que es mayor de edad, por tanto, la participación fue voluntaria y el compromiso de las autoras de esta indagación fue el anonimato y el uso de los datos con fines académicos y de investigación, siguiendo las guías de ética en los procesos de indagación auspiciados por el Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOMS) y World Health (WHO), 2016.

Asimismo, los autoras de este documento diseñaron tareas focalizadas para estimular un proceso cognitivo específico (ver tabla 9.1).

Tabla 9.*1: Descripción de las tareas diseñadas para el experimento*

Actividad	***Código***	***Tiempo de monitorización (en minutos)***	***Instrucción***	***Objetivo***	***Proceso cognitivo que se estimula***
Resolución de ejercicio de mecánica (equilibrio estático)	ACT1	6	Leer el ejercicio propuesto, categorizar sobre el tema de mecánica, realizar cálculos hasta plantear ecuaciones.	Medir el estado mental mediante: interés, excitación, compromiso, enfoque, estrés y relajación.	Racionalidad
Explicación verbal a partir de la realización de una lectura corta	ACT2	6	Realiza la lectura de: y explica lo que entendiste con tus propias palabras.	Medir el estado mental mediante: interés, excitación, compromiso, enfoque, estrés y relajación.	Recuperar información
Ejecución de una pieza musical en piano	ACT3	6	Ejecutar una pieza musical sin observar la partitura.	Medir el estado mental mediante: interés, excitación, compromiso, enfoque, estrés y relajación.	Memoria de trabajo
Clase magistral (tradicional)	ACT4	6	Escuchar y atender la explicación del profesor sobre el ejercicio de la conservación de la energía mecánica	Medir el estado mental mediante: interés, excitación, compromiso, enfoque, estrés y relajación.	Atención

Fuente: elaboración propia.

Resultados

Es pertinente aclarar y reiterar que la naturaleza de nuestros hallazgos, los porcentajes de rendimiento que se reportan a continuación, no son un análisis directo de la señal de EEG cruda sino que son producto de los algoritmos de la herramienta Emotiv Epoc X. Según lo declarado por el fabricante del dispositivo, la señal tiene un denoising básico, es decir, un filtro pasa banda y un filtro de muesca, asimismo, tiene un procesamiento agregado que la interfaz de programación de aplicaciones ejecuta para mejorar los datos que nutren a sus clasificadores. Este preprocesamiento automático hace de fácil usabilidad la herramienta, aunque también es una limitante para la investigación educativa, puesto que no se puede verificar que los algoritmos sean los correctos, por lo tanto, estos datos y su interpretación tienen sólo fines exploratorios.

Para mayores detalles sobre los gráficos y los datos proporcionados por el dispositivo ver apéndice 2. A continuación, en la tabla 2 se aprecian los seis indicadores indirectos de rendimiento para cada actividad provistos por la neuro herramienta Emotiv Epoc X.

Tabla 9.2: *resultados reportados en porcentaje de los indicadores indirectos de rendimiento*

Métrica (indicador)	*ACT1 (Resolución de problema)*	*ACT2 (Explicación)*	*ACT3 (Piano)*	*ACT4 (Clase tradicional)*
Interés (At)	43	41	61	20
Compromiso (En)	42	69	49	52
Excitación (Ex)	11	92	27	36
Enfoque (In)	67	60	59	54
Relajación (Re)	70	70	36	51
Estrés (St)	49	50	63	35

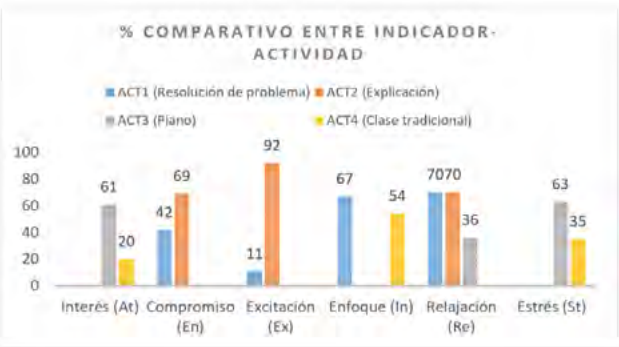
Fuente: elaboración propia.

A partir de las métricas reportadas por Emotiv Epoc X, se observa que el mayor interés está en la actividad de piano (ACT3) con 61, en contraste, el menor interés sucede en la clase tradicional (ACT4) con 20. Esto respalda el resultado de que la actividad de tocar el piano fue la más atractiva, mientras que la clase tradicional generó el menor involucramiento. Por su parte, el máximo compromiso (nivel de inmersión) se registró en la actividad de explicación

(ACT2) con 69 y el mínimo compromiso se encuentra en la actividad de ejercicios (ACT1) con 42. La excitación más alta ocurrió en la explicación (ACT2) con 92, indicando una gran activación emocional en esta actividad. La excitación más baja se dio en la resolución de ejercicios (ACT1) con 11, lo que indica que fue una tarea menos estimulante. El mayor enfoque se alcanzó en la resolución de ejercicios (ACT1) con 67. El menor enfoque se registró en la clase tradicional (ACT4) con 54. Parece que la tarea de resolución de ejercicios demandó una mayor concentración, mientras que la clase tradicional permitió más dispersión. La mayor relajación (desconexión) ocurrió en la resolución de ejercicios (ACT1) y la explicación (ACT2) con 70. La menor relajación fue durante la actividad de piano (ACT3) con 36, indicando una mayor activación en esa tarea. Es probable que las primeras dos actividades generen una sensación de vigilancia, mientras que tocar el piano pudo generar más tensión. Finalmente, el mayor nivel de estrés ocurrió en la actividad de piano (ACT3) con 63. Mientras que el menor nivel de estrés se presentó en la clase tradicional (ACT4) con 35. Esto podría indicar que la actividad del piano fue la más desafiante, ya que no se tuvo a la mano la partitura para leer la pieza musical y se debe considerar que ejecutar una pieza de memoria en el piano es una tarea psicomotriz compleja con una alta demanda cognitiva mientras que la clase tradicional implica sólo estar escuchando, y no representa un desafío intelectual porque el estudiante adopta una actitud pasiva.

En este orden de ideas, el gráfico 9.1 muestra los porcentajes más altos y más bajos de cada indicador dependiendo de la actividad desarrollada

Gráfico 9.*1: Resultados reportados en porcentaje de los indicadores indirectos de rendimiento*



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Derivado del análisis de los indicadores indirectos registrados con la diadema Emotiv Epoc X durante la realización de distintas actividades, se divisa que los procesos cognitivos del estudiante varían en función del tipo de actividades. Asignaciones como tocar el piano y explicar oralmente presentaron niveles medios de interés y compromiso, y en el caso de la explicación, un nivel alto de excitación, lo cual sugiere una mayor activación emocional y participación cognitiva. En cambio, la clase tradicional mostró niveles bajos de interés y estrés, así como niveles medios de enfoque y compromiso, reforzando la idea de que la pasividad no emociona al individuo. La resolución de ejercicios evidenció un nivel alto de enfoque, lo cual indica una demanda atencional, aunque también se asoció con un nivel bajo de excitación emocional. Esta combinación sugiere que ciertas tareas pueden estimular funciones cognitivas específicas (como la concentración), sin necesariamente implicar un alto nivel de activación emocional.

Estos resultados, aunque limitados a un estudio de caso, respaldan la conjetura de que el diseño de tareas concretas puede modificar la activación cognitiva y emocional del estudiante, y que herramientas como la Emotiv Epoc X permiten divisar, con reservas y limitaciones de generalización, de forma no invasiva estos procesos en tiempo real. Desde una perspectiva neuroeducativa, este estudio resalta la importancia de promover actividades activas y desafiantes que involucren tanto el conocimiento como la explicación, la resolución y la interacción. Asimismo, se plantea la necesidad de que los y las docentes reflexionen críticamente sobre el tipo de experiencias de aprendizaje que ofrecen, considerando no sólo los contenidos, sino también el impacto cognitivo y emocional que estas experiencias generan en los estudiantes. Finalmente, se destaca el potencial de las neuro herramientas en contextos educativos como instrumento exploratorio para comprender mejor cómo se involucran los estudiantes con diferentes tipos de actividades, y para generar evidencias que orienten la mejora de las prácticas docentes.

Este capítulo pertenece al Proyecto de Investigación No. 20252377: "Fábulas y experimentos: estrategias para la alfabetización científica en la infancia", financiado por el Instituto Politécnico Nacional en la convocatoria Proyectos de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico 2025.

Referencias

Bisquerra, R. (2009). Metodología de la investigación educativa. La Muralla.

Bueno, D. (2021). La neurociencia como fundamento de la educación emocional. Revista internacional de educación emocional y bienestar, 1(1), 47-61. https://doi.org/10.48102/rieeb.2021.1.1.6

Martínez, P. (2006). El método de estudio de caso: estrategia metodológica de la investigación científica. Pensamiento & gestión, (20), 165-193. https://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/pensamiento/article/view/3576

Carballo, A. y Portero, M. (2019). 10 ideas clave. Neurociencia y educación: Aportaciones para el aula (Vol. 27). Graó.

Chaddad, A., Wu, Y., Kateb, R., y Bouridane, A. (2023). Electroencephalography signal processing: A comprehensive review and analysis of methods and techniques. Sensors, 23(14), 1-27. https://doi.org/10.3390/s23146434

Colvin, R. (2016). Optimising, generalising and integrating educational practice using neuroscience. Science of Learning, 1(1), 1-4. http://10.1038/npjscilearn.2016.12

Council for International Organizations of Medical Sciences and World Health Organization. (2016). International ethical guidelines for health-related research involving humans. CIOMS. https://cioms.ch/wp-content/uploads/2017/01/WEB-CIOMS-EthicalGuidelines.pdf

De Brigard, F., y Prinz, J. (2010). Attention and consciousness. Wiley interdisciplinary reviews: Cognitive science, 1(1), 51-59. http://10.1002/wcs.27

Dzib, A. (2013). La evolución del aprendizaje: más allá de las redes neuronales. Revista Chilena de Neuropsicología, 8(1), 20-25. https://www.redalyc.org/pdf/1793/179328394004.pdf

Emotiv, (2025a). Performance Metrics. https://www.emotiv.com/tools/knowledge-base/performance-metrics/performance-metrics?srsltid=AfmBOorLWlL6zJ1b9KZwZec8LKPAHNMdjWDsv5nh4UNqVUvaZUMt-VoN

Emotiv, (2025b). Guía de inicio rápido. EPOC x. https://www.emotiv.com/pages/quick-start-guide- epoc-x

Escobar, F. y Romero, S. (2022). El aprendizaje de gráficas cinemáticas a través del modelo ADDIE utilizando un enfoque neuro-educativo. IE Revista de Investigación Educativa de la REDIECH, (13), 28. https://doi.org/10.33010/ie_rie_rediech.v13i0.1554

Etchepareborda, M. y Abad, L. (2005). Memoria de trabajo en los procesos básicos

del aprendizaje. Revista de neurología, 40(1), 79-83. https://doi.org/10.33588/rn.40S01.2005078

Gkintoni, E. y Dimakos, I. (2022, 5 de julio). An overview of cognitive neuroscience in education. 14th International Conference on Education and New Learning Technologies. Palma de Mallorca, España. https://doi.org/10.21125/edulearn.2022.1343

Gobbo, M., Medrano, L., Parada, M. y Palau, F. (2024). Impacto de una intervención breve y online de mindfulness para mejorar el rendimiento cognitivo y bienestar emocional en adultos. Neurología Argentina, 16(1), 22-30. http://10.1016/j.neuarg.2024.02.002

Grimm, J., y Richter, T. (2024). Rational thinking as a general cognitive ability: Factorial structure, underlying cognitive processes, and relevance for university academic success. Learning and Individual Differences, 111, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2024.102428

Liu, M., Zuo, J., Tao, Y., Zhao, L., Wu, S., Feng, L., y Liao, L. (2022). Influencing factors of learning sustained attention for nursing students in online settings: A structural equation model. Nurse Education Today, 111, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2021.105248

Marty, J., Howes, L., y Smilek, D. (2021). Sustained attention and the experience of flow. Psychological research, 85(7), 2682-2696. https://doi.org/10.1007/s00426-020-01433-x

Müller, C., Otto, B., Sawitzki, V., Kanagalingam, P., Scherer, J. S. y Lindberg, S. (2021). Short breaks at school: effects of a physical activity and a mindfulness intervention on children's attention, reading comprehension, and self-esteem. Trends in Neuroscience and Education, 25, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.tine.2021.100160

Newen, A. (2017). What are cognitive processes? An example-based approach. Synthese, 194, 4251-4268. http://10.1007/s11229-015-0812-3

Quintero, J. y Domínguez, C. (2025). Neurociencia y educación: comprendiendo el origen del aprendizaje desde la plasticidad cerebral. Revista Metropolitana De Ciencias Aplicadas, 8(1), 42-53. https://doi.org/10.62452/tasqde94

Robertson, I. H., Ward, T., Ridgeway, V. y Nimmo-Smith, I. (1996). The structure of normal human attention: The Test of Everyday Attention. Journal of the International Neuropsychological Society, 2(6), 525–534. http://10.1017/S1355617700001697

Rosengrant, D., Hearrington, D. y O'Brien, J. (2021). Investigating student-sustained attention in a guided inquiry lecture course using an eye tracker. Educational psychology review, 33, 11-26. https://doi.org/10.1007/s10648-020-09540-2

Sabio, J., Williams, N. S., McArthur, G. M. y Badcock, N. A. (2024). A scoping review on the use of consumer-grade EEG devices for research. PloS one, 19(3), e0291186. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0291186

Sánchez, F. y Barba, A. (2019, 4 de julio). Cómo impartir una clase magistral según la neurociencia. Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática. XXV

Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática. Asociación de Enseñantes Universitarios de la Informática (AENUI), Murcia, España. https://www.researchgate.net/publication/335207388_Como_impartir_una_clase_magistral_segun_la_neurociencia

Slattery, E., Ryan, P., Fortune, D. y McAvinue, L. (2024). Evaluation of a School-Based Attention Training Program for Improving Sustained Attention. Mind, Brain, and Education, 18(1), 103-124. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/mbe.12396

Sulieman, H., Alamoush, I. y Al Shdaifat, K. (2024). The impact of a cognitive neuroscience-based educational program on developing reading comprehension skills among intermediate stage students. International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology (IJEMST), 12(3), 575-589. https://Doi.Org/10.46328/Ijemst.4051

Villalobos, J. (2015). Francisco Mora (2013). Neuroeducación, solo se puede aprender aquello que se ama. Madrid: Alianza Editorial, 224 pp. Persona: Revista de la Facultad de Psicología, (18), 155-158. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6170873

Zhang, W., Liao, J., Li, N., Du, K. y Lin, J. (2024, 4 de junio). Agentic information retrieval. 47th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval. Woodstock, Nueva York, EE. UU. https://arxiv.org/pdf/2410.09713

Apéndice 1: https://drive.google.com/file/d/1TOiG9NFg3KJkjjt7c_MF14ww7b0jowv9/view?usp=sharing

Apéndice 2: https://drive.google.com/file/d/1VGrNQCfDbP36YdpXrbZKiwne_A7kIorT/view?usp=sharing

Sobre los autores

Aguilar Acevedo, Francisco

Doctor en Ciencias en Física Educativa por el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del IPN. Obtuvo la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico y la Licenciatura en Ingeniería en Electrónica por la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Se desempeña como Profesor en la Universidad Anáhuac Puebla y actualmente realiza una estancia posdoctoral académica en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel 1 y del Consejo Mexicano de Investigación Educativa. Sus áreas de interés incluyen la enseñanza de las ciencias, la realidad virtual y aumentada, y los sistemas dinámicos.

Ha publicado artículos relacionados con el aprendizaje-enseñanza de las ciencias desde diferentes perspectivas, como aprendizaje conceptual de las leyes de Newton mediante secuencias didácticas con simulaciones en realidad aumentada en la *Revista Electrónica de Tecnología Educativa* (2024), enseñanza en línea de las leyes de Newton, utilizando simulaciones en *Innovación Educativa* (2023) y perspectiva tecno-pedagógica de la realidad aumentada en la educación en *Investigación y Ciencia* de la Universidad Autónoma de Aguascalientes (2023).

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5248-3230
Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Acevedo-3
Google Academic: https://scholar.google.com/citations?user=JmpeNt-MAAAAJ&hl

Alcázar Guzmán, Anahí

Estudia el Doctorado en Física Educativa en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional (CICATA, Unidad Legaria) en la Ciudad de México, realizando investigación sobre el tema emergente *"Juego serio para el aprendizaje significativo de la física en nivel superior"*. Contribuye en la línea de generación y aplicación del conocimiento en tecnologías de la información y la comunicación aplicadas a la enseñanza de las ciencias. Obtuvo la Maestría en Docencia en la Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Los Mochis, donde también cursó la Licenciatura en Ingeniería Industrial y de Sistemas, destacando por su tesis *"Metodología Lean para el personal de la embotelladora del Valle del Fuerte"*.

Antes de su carrera docente adquirió una amplia experiencia laboral, desempeñándose como certificadora, tallerista y docente en el fortalecimiento del pensamiento matemático en la Comisión Nacional de Seguridad, específicamente en penales federales ubicados en Islas Marías, Jalisco y Nayarit. La Mtra. Alcázar ha asumido diversos roles académicos relevantes, entre ellos la revisión de proyectos de Expogenios en Ciencias, la evaluación de tesis y el acompañamiento tutorial de estudiantes. Asimismo, ha participado como coautora en importantes aportaciones científicas, entre ellas *"Uso de robots para la enseñanza de las matemáticas en aulas"* y *"Metodología sistémica y realidad virtual: afrontando obstáculos didácticos en la enseñanza de la ingeniería"*.

Desde hace once años se desempeña como docente en el programa académico de Ingeniería Industrial del Departamento de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Los Mochis. En este rol se especializa en las áreas de calidad y logística, además de colaborar con programas relacionados con las ciencias físico-matemáticas. Su trayectoria académica y compromiso con la innovación educativa se reflejan en su participación activa en proyectos COIL (Collaborative Online International Learning), como *"Física-Mecánica, conexión latina México-Colombia"* y *"Diseño de videojuegos educativos"* con la Universidad Autónoma de Yucatán. Estas iniciativas evidencian su interés por promover la colaboración internacional y el intercambio de conocimiento, enriqueciendo la formación de sus estudiantes y fortaleciendo la comunidad académica global.

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8008-4579

Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Anahi-Alcazar-Guzman

Google Académico: https://scholar.google.com/citations?user=bhnsyu4AAAAJ&hl=en
Correo electrónico: aalcazarg2200@alumno.ipn.mx

Ávila García, Guillermina

Guillermina Ávila García es licenciada en Física y Matemáticas y Doctora en Ciencias con Especialidad en Física Educativa por el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) del IPN. Su tesis doctoral recibió mención honorífica y el premio a la mejor tesis de posgrado en el IPN 2023.
Es profesora adscrita al CECyT 11 y profesora invitada en CICATA, Legaria, y del CIECAS del Instituto Politécnico Nacional. Es miembro de: Sociedad Mexicana de Matemáticas, Red de Innovación e Investigación Educativas, Red de los Seminarios Repensar, Sociedad Mexicana de Computación, Mesa Interamericana de Diálogo por la Educación Científica en Argentina y de la Red de Centros de Investigación en Matemática Educativa A. C. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores Nivel 1 en México.
Recientemente recibió el "premio al mérito como docente del año 2025 Wilfrido Massieu" en el CECyT 11. Y la presea 2025 "Amalia Solorzano de Cárdenas" por sus contribuciones a la educación en el IPN.

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5229-3384
Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Guillermina-Avila-Garcia
Google Académico: https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=uVTVBPwAAAAJ
Scopus: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57781072000
Web of Science Researcher ID: https://www.webofscience.com/wos/author/rid/GZM-8999-2022

Camacho Medina, Edgar Alejandro

Estudiante del Doctorado en Ciencias en Física Educativa en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional (CICATA-IPN). Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias por la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), así como el título de Licenciado en Ingeniería Civil por la Facultad de Ingeniería Culiacán de la misma universidad, institución en la que actualmente se encuentra adscrito como profesor. Su línea de investigación se centra en el desarrollo de

tecnologías inmersivas aplicadas al aprendizaje de las ciencias, con enfoque en la integración de la realidad aumentada en el contexto de la ingeniería civil y en la promoción del aprendizaje dentro del campo STEM. Es miembro del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos y cuenta con publicaciones de artículos científicos relacionados al uso de la realidad aumentada en contextos de ingeniería educativa, siendo la publicación más reciente la titulada Design of a 3D Model-Based Augmented Reality Tool for Engineering Learning, como parte de las series de libro Communications in Computer and Information Science del Immersive Learning Research Network 2025 de Springer.

Correo electrónico: edgar.cam@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0006-9428-536X
ID's Scopus: 60091425700
Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Edgar-Camacho-Medina
Google Scholar: https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=N1tURg-MAAAA

Castiblanco Abril, Olga Lucía

Olga Lucía Castiblanco Abril. Obtuvo el galardón a la excelencia en Innovación Pedagógica-2021 del Ministerio de Educación Nacional, Colombia, así como el Premio Mujeres de Éxito/categoría educativa/2020-Colombia. Es Doctora en Educación para la Ciencia de la Universidade Estadual Paulista, Bauru-SP, Brasil. Es Magíster en Docencia de la Física de la Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia. Licenciada en Física de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Actualmente es profesora e investigadora de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Líder del grupo de investigación en "Enseñanza y Aprendizaje de la Física-GEAF". Editora de la Revista *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias.* Es autora de diversas publicaciones en didáctica de la física y formación de profesores de ciencias con 5 libros, 50 artículos, 8 capítulos de libro, más de 100 ponencias en eventos académicos y conferencista magistral en más de 40 eventos nacionales e internacionales. Fue coordinadora de la Licenciatura en Física (2015). Algunas de sus contribuciones más recientes son:

Castiblanco, O. (2023). *La Dimensión Sociocultural de la Didáctica de las Ciencias: desde la formación de profesores de física*. Editorial UD, Bogotá.

Castiblanco, O.; Nardi, R. (2023). *Didáctica de la Física*. Editorial Escrituras, Brasil, 3a Ed.

Castiblanco, O., *et al* (2022). ¡Mami! ¡Descubrí algo!. Editorial Letrame.

Castiblanco, O. (2021). *Tipologías de experimentación para la enseñanza de la Didáctica de la Física*. Edições Hipótese, Itapetininga, Brasil.

Castiblanco, O.; González, L. (2023). Training Teachers for New Ways of Understanding Physics Teaching from Its Mathematization. *IJISME. International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 31(6), 70-83.

Castiblanco, O.; Vizcaíno, D. (2024) Taking on a new meaning of physics mathematization for teaching in teacher education processes. *Physics Education*, 59 045012, 12 pp.

- Ministerio de Ciencia y Tecnología/Colombia: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000280496

Google Académics: https://scholar.google.com/citations?user=mpNuKg-MAAAAJ&hl=es

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8069-0704

Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Olga_Castiblanco_Abril/publications

Escobar Moreno, Fabiola

Es Doctora en Ciencias con especialidad en Física Educativa por el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) y Maestra en Ingeniería por el Tecnológico de Monterrey. Cuenta con 7 diplomados y más de 1000 horas de formación docente. En el ámbito de la industria laboró para Mexichem Derivados (hoy Orbia). También fue profesora de física en la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas del IPN. Actualmente es profesora del programa de posgrado en Física Educativa en CICATA-Legaria del IPN. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), Nivel 1. Líneas de investigación: didáctica de la física y la ingeniería, neuroeducación

Flores Cruz, Jesús Alberto

Es Doctor y Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas por el Instituto Politécnico Nacional y Licenciado en Ingeniería Eléctrica por la Universidad Autónoma Metropolitana. Es Profesor Titular "C" en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA-Legaria) del IPN, donde forma parte del Posgrado en Ciencias en Física Educativa. Sus líneas de investigación se enfocan en el uso de tecnologías emergentes para la enseñanza de la ingeniería y la física, particularmente la realidad virtual, la realidad aumentada, los simuladores y los juegos serios. Es autor de los libros La realidad virtual y la enseñanza de la ingeniería (2024) y Tendencias tecnológicas en el aula actual (2024). Ha publicado artículos recientes en Edutec, Revista Electrónica de Tecnología Educativa (2024) y Journal of Learning Styles (2025). Ha desarrollado aplicaciones registradas como Newton AR y Oca Eléctrica AR para la enseñanza interactiva de la física, y cuenta con las distinciones de Profesor Colegiado y Miembro del Programa de Estímulos al Desempeño de los Investigadores (EDI) del IPN.

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7816-4134
Scopus: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57200091489
Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Flores-Cruz-2
Google Académico: https://scholar.google.es/citations?user=Yb5v6OYAAAAJ&hl=es&oi=ao
Academia.edu: https://ipn.academia.edu/JesusAlbertoCruz
Correo electrónico: jafloresc@ipn.mx

Hi Rivera, Abraham

Ingeniero en Teleinformática por el Instituto Tecnológico Superior de Sinaloa (ITESUS). Cuenta con dos posgrados: Maestría en Redes y Tecnologías de la Información por el mismo instituto y Maestría en Innovación Tecnológica por el Centro de Investigación Markoptic A.C. Actualmente se encuentra en proceso de titulación del Doctorado en Tecnología Educativa por el Centro Educativo Mar de Cortés.

Cuenta con 13 años de experiencia como docente, se desempeña como profesor de tiempo completo en la Universidad Politécnica del Mar y la Sierra (UPMyS), donde imparte clases en la carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información. Está certificado como Programador en Java y en SQL Server, y ha participado en proyectos de redes y seguridad informática en el sector privado.

Miembro del Sistema Sinaloense de Tecnólogos e Investigadores (SSIT) y de la Red Estatal de Divulgadores de la Ciencia y la Tecnología en Sinaloa, la RED-C Sinaloa.

ORCID: https://orcid.org/0009-0007-5997-5450
Google Académico: https://scholar.google.com/citations?user=macci-dAAAAAJ&hl=es&citsig=ACUpqDfD6Q_eMlH_MIA3olqHNSoe
Google Académico: a.hi@upmys.edu.mx

Leeflang, Cindy

Cindy Leeflang es profesora en la Escuela de Negocios FHR de Surinam. Posee una Maestría en Aprendizaje e Innovación del Instituto de Estudios de Posgrado e Investigación (IGSR). Sus intereses académicos se centran en el cambio educativo y la gestión de la calidad, con especial atención a las innovaciones en la enseñanza de la física. Su enfoque en este tema proviene de su experiencia como decana y profesora en la escuela secundaria superior de la HHS, donde se realizó la investigación. Ha contribuido a diversos proyectos de desarrollo educativo y le apasiona conectar la teoría con la práctica en la educación secundaria superior. Su trabajo busca impulsar la mejora educativa sostenible mediante estrategias basadas en la evidencia y la práctica reflexiva.

orcid ID: https://orcid.org/0009-0004-3527-6442

Maldonado Aponte, David Steven

Cursa la Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Es Licenciado en Física por la misma institución. Está vinculado al grupo de investigación en Enseñanza y Aprendizaje de la Física-GEAF, donde desarrolla proyectos relacionados con la integración de la programación y la modelación computacional en la enseñanza de la física. Sus principales líneas de investigación incluyen la didáctica de la física, el pensamiento físico matemático y el uso de herramientas computacionales para el aprendizaje de fenómenos físicos. Entre sus trabajos más recientes se encuentra el trabajo de grado titulado "Integración de la programación en Python en un proceso de desarrollo del pensamiento físico matemático para el aprendizaje del fenómeno de la caída de los cuerpos" (2025).

orcid: https://orcid.org/0009-0000-5065-9119
Google Académico: https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=PO-2Ja48AAAAJ

Mayo Juárez, Clara

Doctora en Ciencias con especialidad en Matemática Educativa por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav) del Instituto Politécnico Nacional (México).

Se ha desempeñado como profesora de diversas asignaturas de matemáticas en el nivel superior del Instituto Politécnico Nacional. Actualmente es profesora e investigadora en el programa de posgrado en Educación Matemática por el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) unidad Legaria (México).

Ha publicado artículos relacionados con el estudio de profesores y futuros profesores acerca del uso de recursos matemáticos y digitales en la resolución de problemas y su impacto en la construcción social del conocimiento.

ORCID: https://orcid.org/0009-0002-0009-4196-3464

Mora Ley, César Eduardo

Doctor en Física por la Universidad Autónoma Metropolitana (México) y Doctor en Educación por la Universidad de Burgos (España). Obtuvo la Maestría en Ciencias en Física en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, y la Maestría en Filosofía Aplicada en la Universidad Vasco de Quiroga. Es Licenciado en Física y Licenciado en Educación Matemática por la Universidad de Guadalajara.

Se ha desempeñado como profesor del posgrado en Física Educativa del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, del cual es fundador. En la actualidad es Investigador Nacional Nivel II de la SECIHTI, donde realiza investigaciones sobre aprendizaje activo de la física mediante tecnología, la implementación del modelo STEM y la aplicación de la semiótica en la enseñanza de la física. También es presidente fundador de la División de Enseñanza de la Sociedad Mexicana de Física, y de la Sección México de la AAPT. Asimismo, es editor asociado de la revista mexicana de física E y editor adjunto del European Journal of Physics. Es presidente electo del International Council of Associations of Science Education (ICASE).

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6607-0429
ID's Scopus: 36905328100

Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Cesar-Mora
Google Scholar: https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=pv6Bq-GIAAAAJ
Academia: https://ipn.academia.edu/CésarEduardoMoraLey

Olivo Montaño, Pamela Geraldine

Doctora en Filosofía de la Ciencia con especialización en Comunicación Pública de la Ciencia por la Universidad Nacional Autónoma de México (México). Obtuvo la Maestría en Filosofía de la Ciencia por la misma institución y la Licenciatura en Filosofía por la Universidad de Guadalajara. En la actualidad es Profesora de cátedra en el Tec de Monterrey, Escuela de Humanidades y Educación, campus Guadalajara, en donde imparte asignaturas que buscan fomentar el pensamiento ético y pensamiento crítico a nivel licenciatura. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII, nivel candidata). El interés en la investigación se centra en la comunicación y divulgación de la ciencia en espacios de educación no formal y formal, ciencia ciudadana, estrategias de comunicación, divulgación e innovación educativa, ética en la investigación, transversalidad entre humanidades y ciencias, etc.

También es Miembro de la PCST (Public Communication of Science and Technology) y de la Red POP (Red de popularización de la ciencia y la tecnología en América Latina y el Caribe).

Entre las publicaciones más recientes se encuentran *"HUMETAV model for citizen science initiatives: designing socio-ecological projects to foster awareness"* (2025), publicado en *Frontiers in Education; "Attention to Diversity and Inclusion: Effective Strategies in Higher Education"* (2025), incluido en el volumen *Advances in Interdisciplinary Research* de Routledge; y *"MAICC model: development of complex thinking through citizen science project evaluation"* (2024), también en *Frontiers in Education*. Asimismo, es coautora de *"AI platform model on 4IR megatrend challenges: complex thinking by active and transformational learning"* (2024) en *Interactive Technology and Smart Education* y de *"Prospective narratives on global issues: an AI-based pedagogical model for assessing complex thinking"* (2024) en *Journal of Technology and Science Education, "Filosofía para incentivar el pensamiento crítico en física cuántica: una mirada cualitativa en estudiantes de ingeniería"* (2025), incluido en las *Actas del 4th International Congress: Education and*

Knowledge (Octaedro, Barcelona), "Changes in Critical Thinking through Philosophical Strategies in Quantum Physics Education" (2025), en los *New Perspectives in Science Education Conference Proceedings (Filodiritto Publisher, Italia),* ambos centrados en el potencial de la reflexión filosófica para fortalecer el pensamiento crítico en la enseñanza de la física cuántica.

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2882-3626
Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Pamela-Olivo
Google Académico: https://scholar.google.com/citations?user=oAVq-q1oAAAAJ&hl=es&oi=ao

Ramos Brito, Francisco

Doctor en Ciencia e Ingeniería de Materiales por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Obtuvo la Maestría en Ciencia en Ingeniería de Materiales y la Licenciatura en Física en la UNAM. Se ha desempeñado como profesor investigador titular "c" en la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la Universidad Autónoma de Coahuila; investigador titular "c", es director de investigación y desarrollo, así como de laboratorios y talleres en el Centro de Ciencias de Sinaloa. Actualmente se desempeña como profesor investigador titular "C" en la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores y de la Sociedad Mexicana de Física. Ha desarrollado su investigación principalmente dentro de dos líneas: síntesis y caracterización de óxidos metálicos funcionales y síntesis y estudio de óxidos metálicos luminiscentes. Sus últimas tres publicaciones son: 1) E Lizárraga-Medina, F Ramos-Brito, M Aguilar-Frutis, J. Angulo-Rocha, Pure ZnO with cool white, warm white, orange and turquoise color emissions: a purely experimental approach, Applied Physics A 131 (4), 280, 2) IA Cordero-Martínez, Martínez-Martínez, G. Juárez-López, White luminescent emissions from HfO2 and HfO2: Al3+ layers deposited by ultrasonic spray pyrolysis technique, Optical Materials 141, 113905, 3) C López-Esmerio, C Ruiz-Rojas, J. Angulo-Rocha, E. Lizárraga-Medina, Study of the electrical, optical and morphological properties in submicron and microstructured ZnO thin films obtained by spin coating and chemical bath deposition Science and Technology Indonesia 7 (3), 291-302.

ORCID: 0000-0001-6355-1895
ID's Scopus: 6507307542

Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Ramos-Brito?ev=hdr_xprf
Google Académico: https://scholar.google.com/citations?user=Ebkv6hIAAAAJ&hl=es

Ramírez Díaz, Mario Humberto

Doctor en Ciencias en Física Educativa (CICATA LEGARIA-IPN). Tiene un Posdoctorado en Política Educativa en Estudios Sociales y Culturales (Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente). Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Física (ESFM-IPN) y la licenciatura en Física y Matemáticas (ESFM-IPN). Actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores, Nivel II, Profesor titular C, profesor invitado en el Instituto de Especialidades Pedagógicas de la Universidad Austral de Chile. Autor de artículos en revistas del área de la física educativa como The Physics Teacher, European Journal on Physics Education, Physics Education, Journal on Physics Conference Series, Innovación Educativa, Perfiles Educativos, Formación Universitaria, Transylvanian Review, Revista Mexicana de Física E, entre otras. Autor de varios libros sobre estilos de aprendizaje, modelo por competencias, física educativa. Director de proyectos de investigación en IPN y CONAHCYT acerca de diversos temas de la enseñanza de las ciencias.

Adscripción: CICATA Legaria, Instituto Politécnico Nacional, investigador de tiempo completo.
Principales líneas de investigación:
Estilos de aprendizaje en física, modelo por competencias, enseñanza de la física en niveles básicos, formación de profesores de física.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3459-2927Scopus:
ID's Scopus: 51964582700
Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Mario-Ramirez-Diaz
Google Scholar: https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=e74lU-j8AAAAJ

Rodríguez Morales, Luis Alberto

Doctor en Ciencias (Especialidad en Óptica) y Maestría en Ciencias (Especialidad en Óptica) por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Licenciatura en Física Aplicada por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Está

adscrito principalmente a la Universidad Anáhuac Puebla (profesor hora-clase) y a la Universidad Anáhuac Online (tutor académico), y realiza una estancia posdoctoral SECIHTI en en Centro de Investigaciones en Óptica. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNII, nivel 1). Pertenece a asociaciones internacionales como la Optical Society of America (OSA) y SPIE. En el ámbito nacional, sus líneas de investigación incluyen fibras ópticas, sensores y láseres de fibra óptica y enseñanza. Ha realizado estancias de investigación internacionales en la Universidad de Valencia, España. Ha publicado más de 35 artículos de investigación científica dentro de sus últimas publicaciones destacan: Impact of polarization control on the stability of a Thulium-Doped Figure-8 fiber laser — Optics & Laser Technology (2025). DOI: 10.1016/j.optlastec.2025.113770. Direct generation of noise-like rectangular pulses with 5.2 μJ and 2 W from a linear all-fiber laser system at 1565 nm — Journal of Optics, julio de 2025, 27(8):085501. DOI: 10.1088/2040-8986/adf1b6. High-Order Domain-Wall Dark Harmonic Pulses and Their Transition to H-Shaped and DSR Pulses in a Dumbbell-Shaped Fiber Laser at 1563 nm — Micromachines, junio de 2025, 16(7):727. DOI: 10.3390/mi16070727.

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1277-9248

Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Luis-Alberto-Morales-2

Google Academic: https://scholar.google.com.mx/citations?user=-wdRCDw-vRDkC&hl=es&oi=ao

Academia: https://independent.academia.edu/LuisAlbertoRodr%C3%ADguezMorales

Romano Rivera, Roberto

Realizó un Posdoctorado en el Instituto de Astrofísica de Andalucía perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IAA-CSIC) en Granada, España. Obtuvo su Maestría y Doctorado en Ciencias en la Especialidad de Astrofísica en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE).

Actualmente es coordinador de la Maestría en Enseñanza de Ciencias Exactas en el INAOE. Dentro de la misma maestría ha impartido cursos de matemáticas y física. Actualmente está dirigiendo tesis sobre estrategias didácticas para la enseñanza de la física. También ha impartido clases en educación básica, media superior y superior. Ha colaborado en proyectos sobre formación y evolución de galaxias anilladas y en un estudio de cúmulos estelares en galaxias cercanas usando imágenes del Telescopio Espacial

Hubble. Además, ha participado en diferentes actividades de divulgación de la ciencia, especialmente sobre astronomía, a estudiantes y público en general.

Es coautor de "La problematización de la matemática escolar y el diseño de situaciones de aprendizaje en un escenario de desarrollo profesional docente" (IE Revista de Investigación Educativa de la REDIECH, 2024).

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3200-8803

Correo: rromano@inaoep.mx

Santana Fajardo, José Luis

Doctor y Maestro en Ciencias en Física Educativa por el Instituto Politécnico Nacional y Licenciado en Matemáticas por la Universidad de Guadalajara. Es profesor titular A adscrito al Departamento de Física del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara. Candidato a Investigador Nacional por el Sistema Nacional de Investigadores. Miembro de la Asociación Americana de Profesores de Física, sección México (https://aaptmx.com/) de 2013 a la fecha. Sus líneas de investigación incluyen: el desarrollo y la evaluación de competencias en física, la evaluación educativa, la formación de profesores de física. Cuenta con experiencia docente en enseñanza de física y matemáticas a nivel bachillerato general, bachillerato tecnológico y licenciatura. Recibió la Presea Lázaro Cárdenas en 2016. Es autor de publicaciones sobre temas como: sistemas de ecuaciones lineales en espacios vectoriales: un REA para la comprensión del concepto de base en recursos educativos en abierto con diseño universal para el aprendizaje de las matemáticas, (SOMIDEM 2025); Master of Science in Physics Education at The University of Guadalajara: The Curricular Design Process, (International Journal Of Innovation In Science And Mathematics Education, 2024); acertijo de cuatro cubos de Perelman: calidad de las representaciones visuales y argumentación de respuestas verbales (Góndola, 2023). Ha sido ponente en congresos nacionales e internacionales. Tiene experiencia en diseño curricular y diseño de programas de cursos de física para bachillerato general y tecnológico, así como de formación de docentes en matemática y física. Cuenta con experiencia en diseño curricular, ha participado en la actualización de los planes de estudio del Bachillerato General, Bachillerato Tecnológico en Cerámica, Licenciatura en Física, además del diseño del programa de Maestría en Ciencias en Física Educativa de la Universidad de Guadalajara, del que actualmente es el coordinador.

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7048-2648
Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Jose-Santana-Fajardo?ev=hdr_xprf
Google Académico: https://scholar.google.com/citations?user=ZPv8I-6YAAAAJ&hl=es&authuser=1
Academia https://guadalajara.academia.edu/LuisSantana

Serna Sánchez, Juan Carlos

Es estudiante del Doctorado en Ciencias en Física Educativa en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Legaria, del Instituto Politécnico Nacional (México). Es magíster en Matemáticas por la Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia) y físico por la Universidad del Quindío. Actualmente se desempeña como docente de física y matemáticas en una institución educativa pública de Armenia (Quindío) y en la Universidad del Quindío.

ORCID: https://orcid.org/0009-0004-4120-8227

Suárez Rodríguez, Carmen del Pilar

Doctora en Ciencias en Física Educativa por el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional (CICATA-IPN), Maestra en Metalurgia e Ingeniería de Materiales por la Facultad de Ingeniería (UASLP) y Licenciada en Electrónica y Física por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). Tiene más de treinta años de experiencia docente en distintos niveles educativos. Ha impartido cursos en México y en diversos países. Es formadora de profesores en el área STEM y asesora de estudiantes galardonados en certámenes nacionales e internacionales. Su línea de investigación se centra en la educación STEM para el desarrollo sostenible, orientada a la investigación y la solución de problemas locales mediante estrategias de enseñanza-aprendizaje de la ciencia en contextos formales y no formales. Ha diseñado e implementado programas de divulgación científica para fomentar la apropiación social de la ciencia y las vocaciones científicas en niños y jóvenes de comunidades rurales y urbanas. Ha coordinado programas internacionales de formación docente en STEM, como el Teacher Fellowship, y equipos temáticos de la Red Interamericana de Educación Docente (RIED) de la Organización de los Estados Americanos (OEA). Es consultora internacional en educación STEM y desarrollo comunitario. Cuenta con perfil PRODEP y pertenece al Sistema

Nacional de Investigadores (SNI) Nivel I en el área de Humanidades y Ciencias de la Conducta. Ha recibido diversos premios nacionales e internacionales, y participa activamente en asociaciones profesionales dedicadas a la enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4482-8355
Scopus: 56959901600
Google Scholar: https://scholar.google.com.mx/citations?user=PB5eO-L8AAAAJ&hl=es

Tuero O'Donnell-Zulaica, Jesús Diego

Es Máster universitario en Astronomía y Astrofísica por la Universidad Internacional de Valencia y Máster universitario en Energías Renovables por la Universidad Europea de Madrid. Obtuvo la Licenciatura en Ciencias Físicas en la Universidad Nacional de Educación a Distancia y la carrera de Ingeniería Técnica Industrial en la Universidad de Cantabria. Cuenta con estudios especializados en economía, matemáticas discretas, educación y medio ambiente. Se ha desempeñado como docente universitario en diversas asignaturas de ciencias básicas e ingeniería. Actualmente termina sus estudios de Doctorado en Ciencias, en Física Educativa, en el Instituto Politécnico Nacional. Sus líneas de investigación se centran en estrategias de enseñanza basadas en la filosofía de la ciencia, así como en nuevas formas de resolución de problemas en física y matemáticas. Su última publicación como coautor fue: ¿Cómo valorar el pensamiento crítico enseñando física cuántica? Validación de un instrumento con enfoque filosófico, en Avances en ciencias de la educación y aplicaciones en otras áreas, 2025. Dykinson.

ORCID: https://orcid.org/0009-0008-4416-4417

Innovaciones y estrategias para el aprendizaje y la enseñanza de la Física, de Gilberto Castrejón (coord.), publicado por Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C. V., se terminó de imprimir en octubre de 2025, Litográfica Ingramex, S. A. de C. V., Centeno 162-1, Granjas Esmeralda, 09810, Ciudad de México. El tiraje fue de 300 ejemplares impresos y en versión digital para acceso abierto en los formatos PDF, EPUB y HTML. El cuidado de la edición estuvo a cargo de Nancy Rebeca Arzate.

El libro *Innovaciones y estrategias para el aprendizaje y la enseñanza de la Física* se divide en tres partes. La primera presenta un conjunto de investigaciones que toman como base la innovación de estrategias didácticas, tales como la gamificación o el Aprendizaje Basado en la Investigación; la segunda parte se enfoca en presentar investigaciones relacionadas con la aplicación de tecnologías como la realidad aumentada o las simulaciones, para la enseñanza de conceptos de física; finalmente, la tercera parte agrupa tres investigaciones acerca de cómo desarrollar ciertas habilidades como el pensamiento crítico, mediante, por ejemplo, el uso de inteligencia artificial como el ChatGPT. Así, esta obra constituye una aportación a la física educativa, no solo por la actualidad de los temas y la trascendencia de los resultados, sino porque ofrece un conjunto de investigaciones novedosas para todo lector interesado en la disciplina.

Gilberto Castrejón es Doctor en Filosofía de la Ciencia; investigador en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del IPN (CICATA-Legaria), en el Posgrado en Física Educativa. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores de la Secihti. Sus líneas de investigación son filosofía de la física, epistemología de la ciencia y didáctica de la física.

RENIECYT 2000922

DOI.ORG/10.52501/CC.399

EDICIONES COMUNICACIÓN CIENTÍFICA PUBLICACIONES ARBITRADAS
comunicacion-cientifica.com

ISBN-13: 978-968-9738-54-1
9 789689 738541