

INNOVACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA: VIDEOJUEGOS COMO HERRAMIENTA PARA EL APRENDIZAJE ACTIVO

INNOVATION IN PHYSICS EDUCATION: VIDEO GAMES AS A TOOL FOR ACTIVE LEARNING

A. Pacheco González¹

RESUMEN

El trabajo explora el impacto de los juegos serios en la enseñanza de la Física, proponiendo una metodología de aprendizaje activo. El estudio involucró 50 estudiantes de ingeniería incorporando diversas estrategias didácticas. El proceso se estructuró en tres niveles para dosificar la carga cognitiva y promover la autonomía en la resolución de problemas. Los resultados mostraron mejoras significativas en el aprendizaje y las habilidades de los estudiantes. Las encuestas de salida revelaron un impacto y percepción positiva de las actividades, el desarrollo de habilidades en programación y la mejora en la resolución de problemas. Además, los estudiantes valoraron la experiencia de desarrollar videojuegos y la oportunidad de expresarse creativamente. En conclusión, el uso de juegos serios y metodologías activas demostraron ser herramientas efectivas para fomentar el interés, la motivación, aprendizaje dinámico y significativo de la Física. Este enfoque no solo mejora la comprensión de conceptos teóricos, sino que también desarrolla habilidades transversales como la creatividad y la resolución de problemas. Futuras investigaciones podrían extender este enfoque a otras disciplinas y evaluar su impacto a largo plazo en la retención del conocimiento y su trayectoria profesional.

ABSTRACT

The study explores the impact of serious games on physics education, proposing an active learning methodology. Conducted with 50 engineering students, it incorporated didactic strategies. The process was structured into three levels to manage cognitive load and promote autonomy in problem-solving. Results showed significant improvements in students' learning and skills. Exit surveys revealed a positive perception of activities, programming skill development, and problem-solving improvement. Also, students valued this experience of developing video games and the opportunity to express their creativity. In conclusion, the use of serious games and active methods proved to be effective tools to foster interest, motivation, dynamic, and meaningful learning in physics. This approach not only enhances the understanding of theoretical concepts but also develops transversal skills such as creativity and problem-solving. Future research could extend this approach to other disciplines and evaluate its long-term impact on knowledge retention and professional development.

ANTECEDENTES

La enseñanza tradicional de la Física, basada en la memorización y la transmisión unidireccional de conocimientos, ha demostrado ser poco efectiva para captar el interés de los estudiantes, fomentar el pensamiento crítico, la creatividad y un aprendizaje significativo (Marusica & Slisko, 2012). En cambio, el desarrollo del interés por las ciencias desde edad temprana y la incorporación en el aula de estrategias de aprendizaje activo y lúdico pueden desarrollar su habilidad para resolver problemas y actitudes más positivas hacia las mismas (Aondofa & Atindi, 2022; Aprilia, 2023).

Entre los trabajos relacionados aplicando juegos serios en la enseñanza de la Física destacan: Jácome et al. (2021) utilizan juegos para el desarrollo de habilidades matemáticas en niños. Clark y Sengupta (2019) presentan Gameblox, similar a Scratch, para desarrollar juegos

¹ PTC responsable Laboratorio Smart IoT. Instituto Tecnológico de Chihuahua, TecNM, alberto.pg@chihuahua.tecnm.mx

serios para ciencias integrando habilidades de matematización y computación. Widiningrum et al. (2024) presentan un trabajo donde los alumnos resuelven problemas a partir de un folleto de Física, creando simulaciones sencillas mediante Scratch. Spieler et al. (2020) abordan el uso de ejemplos trabajados para el desarrollo de habilidades en la resolución de problemas de programación usando juegos serios. Finalmente, Van der Linden et al. (2024) ofrecen un juego serio para interactuar con modelos de Física.

METODOLOGÍA

El objetivo del presente trabajo consiste en explorar los efectos positivos dentro del aprendizaje de la Física cuando se incorporan estrategias de aprendizaje activo, colaborativo, lúdico y supervisado, en concreto, cuando los estudiantes aplican la teoría y las leyes de la Física en el desarrollo de un videojuego. De forma breve, entre las técnicas y métodos didácticos involucrados en este trabajo se encuentran:

La **matematización**, es la capacidad de un individuo para formular, aplicar e interpretar modelos matemáticos en la resolución de problemas de fenómenos físicos abarcando competencias como la representación, comunicación matemática, producción de estrategias, razonamiento y argumentación, formando así parte integral de la alfabetización matemática del estudiante (Azzouzi et al, 2022; Altun & Morkoyunlu, 2023; Ivanjek, 2024).

Un **juego serio** es aquel videojuego que, además de ofrecer esparcimiento y diversión, integra objetivos didácticos e intenciones pedagógicas, informativas y de interacción para transformar dicha experiencia lúdica en una herramienta de apoyo para aprender o entrenar (Gurbuz & Celik, 2022; Van der Linder et al, 2024), fortaleciendo además la motivación, la creatividad y la capacidad para resolver problemas, así como la colaboración, incentivando la participación activa de los estudiantes (Ben Rebah & Ben Slama, 2019; Tomalá et al, 2020; Aondofa & Atindi, 2022; Gurbuz & Celik, 2022; Van der Linder et al, 2024).

La **teoría de la carga cognitiva** integra principios instruccionales y guías basadas en evidencias para analizar y diseñar métodos, procesos y ambientes de aprendizaje capaces de explotar las limitaciones cognitivas dosificando la carga cognitiva pertinente o relevante (*germane*) considerando aquello que contribuya a construir modelos mentales más complejos y robustos para mejorar el desempeño, tratando además de reducir la carga ajena o irrelevante (*extraneous*) que distrae, retarda u obstaculiza el aprendizaje, liberando así más memoria de trabajo para proporcionar elementos que promuevan el desarrollo de nuevas habilidades y esquemas mentales (Clark et al, 2006).

La **metacognición** se refiere a la conciencia que el individuo tiene de su propio proceso de pensamiento, involucrando el autoconocimiento del proceso cognitivo y autoregulación del mismo para lograr un objetivo (Vorhölter, 2021). En (Wilson & Clarke, 2003) se reporta estudio con estudiantes con habilidades expertas usando la metacognición para monitorear y verbalizar su proceso continuo y reflexivo de resolución de problemas.

Un **ejemplo resuelto** es una guía paso-a-paso para efectuar una tarea o resolver un problema, con el objetivo de incrementar el *expertise* del aprendiz de forma más acelerada (Spieler et al, 2020). Existen distintos tipos de ejemplos resueltos: el ejemplo resuelto guiado (aprendiz novicio); el par ejemplo-problema son ejemplos con ejercicios (aprendiz intermedio); el

ejemplo resuelto desvanecido (*fading worked example*) incorpora menos ejemplos resueltos y adiciona pasos de forma gradual, buscando que el aprendiz más avanzado demuestre su trabajo como evidencia de aprendizaje, incentivando además un proceso más profundo y aplicativo (Chen et al, 2023).

Desde 1890, William Halsted estableció el primer programa de residencias para cirujanos (Kotsis & Chung, 2013), proveyendo un método para guiar y formar cirujanos bajo la tutela y supervisión de un experto que expone sus decisiones y retroalimenta al aprendiz en cada etapa formativa hasta que dicho aprendiz sea capaz de lograr realizar de forma autónoma una cirugía completa. Este **método del cirujano**, en ocasiones resumido como “*see many, do many with supervision, teach many with supervision*” (Steelman et al, 2023).

El entrenamiento basado en aprendizaje supervisado, también denominado **mentor-aprendiz** (*apprenticeship*) se refiere al proceso de transferir conocimientos de una persona (mentor) a otra (aprendiz), mostrando qué hacer y cómo hacerlo. **La teoría del aprendiz cognitivo** (*cognitive apprenticeship theory, CLT*) introducida por (Collins et al, 1987) implica que el mentor haga visible al aprendiz sus procesos cognitivos. Dicha teoría abarca seis métodos de instrucción: modelado, entrenamiento, andamiaje (*scaffolding*), articulación, reflexión y exploración.

En la **programación en vivo** (*live coding*), el instructor programa en tiempo real frente a una audiencia, modelando estrategias, técnicas y heurísticas para resolver problemas (Shah et al, 2023). Existen variaciones, como la teoría del aprendiz cognitivo, donde el mentor verbaliza sus procesos de pensamiento y explica el propósito que hay detrás de cada estrategia elegida conforme resuelve un problema. Por su parte el entrenamiento y andamiaje pueden aplicarse cuando se solicita al aprendiz pasar al frente del grupo a resolver una tarea específica bajo supervisión y una inmediata retroalimentación por parte del mentor.

La taxonomía de Bloom adaptada para la Educación en la Computación (ACM, 2023) sugiere una colección de verbos en sus seis niveles: recuerda, comprende, aplica, analiza, evalúa y crea.

La exploración didáctica cuasi-experimental fue llevada a cabo con tres grupos de Física para ingenieros industriales (n=50) entre los períodos de enero-diciembre 2024 y enero-junio 2025, dedicando a dichas estrategias didácticas alrededor de dos horas semanales. En dichos grupos se desarrollaron videojuegos tanto de forma individual como en equipos, usando un motor de juegos multiplataforma de software libre (Godot, <http://godotengine.org>) y además, se les permitió consultar todo tipo de recursos, como foros, video tutoriales, repositorios de código y aplicaciones de AI.

A lo largo de dicha intervención, los estudiantes demostraron de forma efectiva, concreta, autónoma, gradual y supervisada (metacognición, carga cognitiva, mentor-aprendiz) sus competencias y habilidades para aplicar adecuadamente nociones teóricas de la Física (matematización) para resolver problemas (retos desvanecidos, Bloom) frente a la clase (cirugías y código en vivo) de forma individual, por equipo y/o colectiva, para cada uno de los problemas físicos involucrados en la simulación de los objetos (juego serio), tales como, caída libre y colisión de objetos, la aplicación de fuerzas para desplazar objetos, la

designación de los materiales y propiedades físicas de cada objeto (masa, coeficiente de fricción, elasticidad), así como la manipulación e interacción de los mismos (arrastrar, golpear y desplazar objetos por medio de los controles de juego).

Para dosificar de manera gradual la carga cognitiva de cada una de las cirugías con retos desvanecidos, se desarrollaron tres etapas, con una duración aproximada de un mes para cada una, de la siguiente forma:

- a) **Nivel principiante.** Se introduce el manejo de las herramientas de desarrollo abordando problemas relativamente simples con una carga cognitiva intrínseca muy ligera (primeros niveles taxonomía Bloom).
- b) **Nivel intermedio.** Se incorpora una mayor carga cognitiva relevante para el desarrollo del videojuego. En esta etapa el aprendiz internaliza, reafirma, analiza, transfiere y aplica los conceptos y técnicas básicas, operando, manipulando y configurando el motor de juegos; editando y modificando código (Bloom, nivel 3); analizando, examinando, comparando, descomponiendo y actualizando el código del proyecto (Bloom, nivel 4).
- c) **Nivel avanzado.** Para la etapa final, el mentor se limita a supervisar las cirugías de los aprendices y atiende sus dudas o fallas, promoviendo además la creatividad, la especialización, la autorregulación y la construcción del propio conocimiento en cada aprendiz, incorporando tareas con una carga cognitiva más extensa y enfocada en los niveles superiores de la taxonomía de Bloom (evaluar y crear).

RESULTADOS

Al inicio de los tres cursos de Física se aplicó una encuesta diagnóstica consistente en seis preguntas, de donde destacan los siguientes resultados: un alto porcentaje de reprobación (repetidores) en los tres grupos (40-50%); la mayoría de los estudiantes no sabe programar (60-75%); gran afición y disposición a participar en el desarrollo de videojuegos (80-90%).

Al final de los cursos, se aplicaron encuestas de salida, para el primer grupo (n=7, enero-junio 2024), se obtuvieron los siguientes resultados (ver Tabla 1): existe consenso sobre una elevada curva de aprendizaje respecto al manejo del entorno y lenguaje de programación en las primeras semanas; entre los apoyos educativos más usuales para realizar su proyecto se encuentran: videos (58%), preguntar a compañeros (58%), chatbot IA (33%).

En una escala de Likert 1-5 (1=deficiente; 5=excelente), los estudiantes de Física consideran que: las cirugías en clase contribuyeron a su aprendizaje (4.2); aprendieron a programar (4.3); mejoraron sus habilidades para resolver problemas (3.7); la experiencia de desarrollo del videojuego fue positiva (4.3); les permitió expresarse de forma creativa (4.2); considera justa la forma de evaluar y evidenciar su aprendizaje y competencias (4.2); aplicarían la programación de nuevo en otros cursos (4.3). Por otro lado, un 83% de los estudiantes preferirían aprender a programar antes de su ingreso a la carrera. Entre los comentarios emitidos por los estudiantes en la encuesta de salida destacan los siguientes:

- “Nos ayudó a desarrollar un pensamiento diferente enfocado en nuestra propia creatividad para resolver problemas, en vez de memorizar fórmulas.

- Se debería de ampliar el plan de estudios y enseñar conocimientos prácticos de programación no solo la teoría básica, si no, el cómo usarla realmente.
- Me gustó que la dinámica fuera hacer un juego porque así aprendemos y no se hace tan tediosa la materia.
- Siento que el curso fue muy didáctico y mejorando las formas de enseñanza”.

Los resultados del segundo grupo (n=18, agosto-diciembre 2024) son los siguientes (ver Tabla 1): dificultad en uso de herramientas digitales para crear videojuegos (Godot), dificultad media (56%), alta (33%) y baja (11%); el 90% consideró que el videojuego cumple los objetivos educativos; los apoyos educativos consultados: chatbot IA (78%), videos (67%), compañeros de clase (61%); las cirugías en clase contribuyeron a su aprendizaje (4.3); aprendieron a programar (4.0); mejoraron sus habilidades para resolver problemas de Física (3.9); la experiencia de desarrollo del videojuego fue positiva (4.3); les permitió expresarse de forma creativa (4.2); considera justa la forma de evaluar y evidenciar su aprendizaje y competencias (4.2); aplicarían la programación de nuevo en otros cursos (4.0); recomienda aprender a programar antes de ingresar a una carrera.

Los resultados parciales al aplicar una encuesta intermedia en el grupo más reciente (n=16, enero-junio 2025), tal y como se muestra en la última columna de la Tabla 1, revelan datos muy consistentes con los resultados de las dos encuestas de salida anteriores.

Tabla 1. Resultados de las encuestas de salida.

Pregunta	Ene-Jun 2024	Ago-Dic 2024	Ene-Jun 2025
Apoyo consulta: videos	58%	67%	81%
Apoyo consulta: compañeros	58%	61%	56%
Apoyo consulta: Chatbots de AI (ChatGPT)	33%	78%	81%
Efectividad del Método del Cirujano	4.2 / 5.0	4.3 / 5.0	4.1 / 5.0
Desarrollo de habilidades para resolver problemas	3.7 / 5.0	3.9 / 5.0	4.1 / 5.0
Nivel de expresión creativa	4.2 / 5.0	4.2 / 5.0	3.7 / 5.0

Entre los comentarios emitidos por los estudiantes al final de la encuesta del segundo grupo, destacan:

- “Como sugerencia estaría bien que el docente hiciera videos de cómo hacer ciertas cosas, que hubiera un canal de youtube, para cuando tengamos una duda sencilla podamos encontrar por ejemplo como insertar un texto, una imagen, etc.
- Fue un curso muy bueno y bastante entretenido que nos ayudo a desarrollar un pensamiento diferente enfocado en nuestra propia creatividad para resolver problemas y no en un método antiguo y ya establecido de memoria.
- Me agrado mucho su forma de trabajar de una manera única y diferente, haciendo que las clases fueran dinámicas y viendo los temas correspondientes a la asignatura”.

CONCLUSIONES

A pesar de los desafíos iniciales en la curva de aprendizaje, los participantes valoraron positivamente la experiencia y se identificó una demanda por una mayor preparación en

programación desde edades tempranas. Los resultados de esta investigación refuerzan la efectividad del uso de juegos serios como estrategia didáctica en la enseñanza de la Física, evidenciando mejoras en la motivación, la creatividad y el desarrollo de habilidades para la resolución de problemas y el trabajo en equipo para el desarrollo de proyectos.

La combinación de aprendizaje basado en proyectos, programación de videojuegos y estrategias didácticas aplicando los principios de carga cognitiva, metacognición y aprendizaje supervisado permitieron que los estudiantes internalizaran conceptos físicos de manera activa, entusiasta, significativa, crítica, autónoma, creativa, participativa y aplicativa.

Como se muestra en la Tabla 2, a diferencia de los trabajos relacionados antes mencionados que están más enfocados en la enseñanza ludificada de la Física usando juegos (trabajos 1, 4, 5), es de llamar la atención que existan pocos trabajos que exploran la creación de videojuegos por los mismos estudiantes (trabajo 2 y trabajo 3). Sin embargo, como se reporta en la Tabla 1, ningún trabajo abarca todas las estrategias que han sido integradas en la metodología propuesta (trabajo 6).

Tabla 2. Trabajos relacionados sobre juegos serios y estrategias de aprendizaje activo.

No	TRABAJO	Area	Niv. Educ.	PBL	CLT	BT	FWE	LC	SG
1	Jácome et al (2021)	Matem.	Básico		✓	✓			Jugar
2	Clark & Sengupta (2019)	Ciencias	Medio	✓					Crear
3	<u>Widiningrum et al (2024)</u>	Física	Medio	✓			✓		Crear
4	Spieler et al (2020)	Ciencias	Medio	✓	✓		✓		Jugar
5	Van der Linden et al (2024)	Física	Básico/Med	✓					Jugar
6	Método propuesto (2024)	Física	Superior	✓	✓	✓	✓	✓	Crear

PBL=Problem-based learning. CLT=Cognitive Load Theory. BT=Bloom’s taxonomy. FWE=Faded Worked examples. LC=Live Coding. SG=Serious Games.

Entre las limitaciones del presente trabajo se encuentran: de igual forma que el método de Halsted, existe el riesgo de dejar rezagados a los aprendices menos capaces; requiere una continua supervisión; la curva de aprendizaje inicial es pronunciada; es necesario realizar una planificación detallada; se obtienen mejores resultados cuando se cuenta con un mentor experimentado y comprometido (Rowley, 1999).

Futuras investigaciones podrían analizar la aplicación de este enfoque en diversos contextos y modalidades educativas, como la incorporación de herramientas de Inteligencia Artificial y videos explicativos para programas de educación virtual. También resultaría valioso explorar la expansión y adaptación de esta metodología a otras disciplinas STEM, evaluando su impacto a largo plazo en la retención del conocimiento, el desarrollo de competencias y su influencia en el desempeño profesional de los estudiantes.

BIBLIOGRAFÍA

- ACM (2023). Bloom's for Computing: Enhancing Bloom's Revised Taxonomy with Verbs for Computing Discipline, *ACM Comm. Comp. Educ. Community Colleges (CCECC)*.
- Altun, S. & Morkoyunlu, Z. (2023). The Use of Error Based Activities to Improve the Mathematization Competency, *Int. J. Progressive Education*, 19(3): 134-148.
- Aondofa, A. & Atindi, V. (2022). Effectiveness of the Use of Gamification by Teachers of Physics in Secondary Schools in Buruku Benue State, *IJAMR*, 6(8): 6-11.
- Aprilia A. et al. (2023). Attitudes and beliefs toward physics, *Rev. Mex. Física*, E 20(1): 1-8.
- Azzouzi, A. et al. (2022). Physics mathematization: Teachers' observations on the application of ICT, *Int. Conf. Intelligent Sys. Computer Vision (ISCV)*, pp. 1-5.
- Ben Rebah, H. & Ben Slama, R. (2019). The educational effectiveness of serious games, *Mediations and Mediatizations*, 2(1): 131-155, doi: 10.52358/mm.vi2.97
- Chen, O. et al. (2023). The effect of worked examples on learning solution steps and knowledge transfer, *Educational Psychology*, doi: 10.1080/01443410.2023.2273762
- Chi, M. et al. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems, *Cognitive Science*, 13(1): 145-182.
- Clark, D. & Sengupta, P. (2019). Reconceptualizing Games for integrating Computational Thinking and Science as Practice, *Interactive Learn. Environ.*, 28(3):328-346.
- Clark, R., Nguyen, F. & Sweller, J. (2006). Efficiency in Learning: Evidence-Based Guidelines to Manage Cognitive Load, Pfeiffer Wiley, ISBN: 9780787977283
- Collins, A. et al. (1987). Cognitive Apprenticeship, Technical Report No. 403.
- Gazis, A. & Katsiri, E. (2023). Serious Games in Digital Gaming: A Comprehensive Review of Applications, *WSEAS Trans. Computer Research*, 11:10-22, doi: 10.37394/232018. 2023.11.2
- Gurbuz, S. & Celik, M. (2022). Serious games in future skills development: A systematic review of the design approaches, *Comp. App. Engineering Education*, 30(5):1591-1612.
- Hake, R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introd. physics courses, *Am. J. Physics*, 66(1): 64-74.
- Hestenes, D. (1992). Modeling games in the Newtonian World, *American J. Physics*, 60(8): 732-748.

- Hidayat, R. et al. (2022). Achievement Goals, Metacognition and Horizontal Mathematization: A Mediational Analysis, *TEM Journal*, 11(4): 1537-1546, doi: 10.18421/TEM114-14
- Ivanjek, L. et al. (2024). Enhancing Mathematization in Physics Education by Digital Tools, *Physics Education Today*, pp. 35-53, Springer Nature.
- Jácome, L. et al. (2021). Gamification as an educational strategy to strengthen cognitive abilities of Mathematics in school children, *Adv. Int. Sys. & Comp.*, 1277: 142–150.
- Kotsis, S. & Chung, K. (2013). Application of the “See One, Do One, Teach One” Concept in Surgical Training, *Plastic and Reconstructive Surgery*, 131(5): 1194-1201.
- Lukman, H. et al. (2023). Gamification of Mathematics Teaching Materials: Its Validity, Practicality and Effectiveness, *Int. J. Emerging Tech. in Learning (IJET)*, 18(20): 4–22.
- Marusic M. & Slisko J. (2012). Increasing the attractiveness of school physics: the effects of two different designs of physics learning, *Revista Mexicana de Física*, E 58(1): 75–83.
- Pacheco, A. (2024). Juego serio para Física como estrategia de aprendizaje activa y lúdica, *Revista Electro*, pp. 43-48, doi: arXiv:2407.10057
- Prince, M. & Felder, R. (2006). Inductive Teaching and Learning Methods: Definitions, Comparisons, and Research Bases, *J. Engineering Education*, 95(2): 123-138.
- Rowley J. (1999). The Good Mentor, *Educational Leadership*, 56(1): 20-2.
- Spieler, B. et al. (2020). Reducing Cognitive Load through the Worked Example Effect within a Serious Game Environment, *IEEE iLRN*, pp. 1-8, doi: 10.23919/iLRN47897.2020.9155187
- Tomalá J. et al. (2020). Serious Games: Review of methodologies and Games engines for their development, *Iber. Conf. Info. Sys. & Tech. (CISTI)*, pp. 1-6.
- Van der Linden, A. et al. (2024). Learning Newtonian mechanics with an intrinsically integrated educational game, *J. Comp. Assisted Learning*, pp. 1–11, doi: 10.1111/jcal.12966
- Van Hemmen, J. (2021). Mathematization of Nature: How it is done, *Biol. Cybern.*, 115: 655–664.
- Vorhölter, K. (2021). Metacognition in mathematical modeling, *Matt. Think. & Learn*, 25(3): 317–334.

- Wells, M., Hestenes, D., & Swackhamer, G. (1995). A modeling method for high school physics instruction, *American Journal of Physics*, 63(7), pp. 606-619.
- Widiningrum W. et al. (2024). Effect of PBL-based scratch e-module in improving computational thinking and physics concepts, *Int. J. Std. Education and Science (IJSES)*, 5(2): 124-139.
- Wilson, J. & Clarke, D. (2003). Towards the modelling of mathematical metacognition, *Math Ed. Research Journal*, 16(2):25-48, doi: 10.1007/BF03217394