








Mejorando la Comprensión de la Cinemática a través de un Videojuego Basado en Gráficos de Movimiento en Tiempo Real

Enhancing Kinematics Understanding through a Video Game Based on Real-Time Motion Graphs

Mateo Dutra¹ , Marcos Abreu² , Martín Monteiro^{3*} , Silvia Sguilla⁴ , Cecilia Stari⁵ ,
Álvaro Suárez⁶ , Arturo Martí¹ 

¹ Instituto de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Iguá 4225, CP 11400, Montevideo, Uruguay.

² CeRP del Centro, Consejo de Formación en Educación, Administración Nacional de Educación Pública, Independencia y 24 de abril, CP 94000, Florida, Uruguay.

³ Facultad de Ingeniería, Universidad ORT Uruguay, Cuareim 1451, CP 11100, Montevideo, Uruguay.

⁴ Instituto de Formación Docente de Canelones, Consejo de Formación en Educación, Administración Nacional de Educación Pública, Treinta y Tres 470, CP 90000, Canelones, Uruguay.

⁵ Instituto de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Av. Julio Herrera y Reissig 565, CP 11300, Montevideo, Uruguay.

⁶ Instituto de Profesores Artigas, Consejo de Formación en Educación, Administración Nacional de Educación Pública, Av. Libertador 2025, CP 11800, Montevideo, Uruguay.

*E-mail: monteiro@ort.edu.uy

Recibido el 25/08/2025 | Aceptado el 02/11/2025

Resumen

La interpretación de gráficas en cinemática constituye un desafío persistente en la enseñanza de la física. El Proyecto *MissionMotion* aborda esta dificultad mediante un entorno físico-computacional gamificado que combina sensores de bajo costo, actividad corporal, pensamiento computacional y visualización en tiempo real de gráficos de movimiento. Presentamos el diseño, desarrollo e implementación de la propuesta, con especial énfasis en la fase piloto realizada con estudiantes de educación media en Uruguay. En esta etapa, utilizamos el cuestionario MEEGA+ como instrumento principal para evaluar la experiencia de juego, la usabilidad y la motivación de los participantes. El análisis de los resultados muestra altos niveles de satisfacción, percepción de aprendizaje y compromiso, lo que respalda la viabilidad de la propuesta. Finalmente, proyectamos una evaluación conceptual a gran escala destinada a analizar cómo la propuesta impacta en la comprensión de gráficas cinemáticas, utilizando herramientas de evaluación estandarizadas.

Palabras clave: Pensamiento computacional; Enseñanza de la cinemática; Gamificación; Sensores

Abstract

Interpreting kinematics graphs remains a persistent challenge in physics education. The *MissionMotion* Project addresses this difficulty through a gamified physical–computational environment that combines low-cost sensors, embodied activity, computational thinking, and real-time visualization of motion graphs. We present the design, development, and implementation of the proposal, with particular emphasis on the pilot phase conducted with secondary school students in Uruguay. In this stage, we used the *MEEGA+* questionnaire as the main instrument to evaluate gameplay experience, usability, and participants' motivation. Analysis of the results shows high levels of satisfaction, perceived learning, and engagement, supporting the feasibility of the proposal. Finally, we outline a large-scale conceptual evaluation aimed at analyzing how the intervention impacts students' understanding of kinematics graphs, using standardized assessment tools.

Keywords: Computational Thinking; Teaching Kinematics; Gamification; Educational Sensors

I. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la física enfrenta un desafío persistente: la dificultad de los estudiantes para construir modelos mentales coherentes sobre el movimiento. Numerosas investigaciones en el campo de la Investigación en Educación de la Física (PER, por sus siglas en inglés) han documentado las dificultades de los estudiantes para interpretar y conectar gráficas de posición, velocidad y aceleración en función del tiempo (Beichner, 1994; McDermott et al., 1987). Entre los problemas más comunes se encuentran la confusión entre posición, desplazamiento y distancia recorrida (Jufriadi et al., 2021), la dificultad para reconocer la pendiente de una gráfica posición–tiempo como la velocidad y la de velocidad–tiempo como la aceleración (McDermott et al., 1987), así como la lectura “pictórica” de las gráficas, interpretándolas como representaciones literales de trayectorias físicas (Beichner, 1994). Frente a este panorama, la investigación en PER ha demostrado que el aprendizaje activo, el trabajo colaborativo y la integración de múltiples representaciones —lingüísticas, matemáticas, gráficas y experimentales— pueden mejorar significativamente la comprensión conceptual (Freeman et al., 2014; Hake, 1998), mientras que la gamificación añade un componente motivacional que favorece la persistencia y la autorregulación. Además de las metodologías basadas en sensores para la enseñanza de la cinemática, investigaciones recientes exploran la integración del pensamiento computacional como una forma de reforzar el razonamiento de los estudiantes sobre el movimiento y el análisis de datos (Dutra et al., 2025).

En Uruguay, el currículo incorpora la cinemática en los primeros años de enseñanza media, pero las experiencias que vinculan directamente el movimiento físico real con su representación gráfica son poco frecuentes. *MissionMotion* surge como respuesta a esta problemática, buscando vincular el movimiento físico real del estudiante con la representación gráfica que estudia, a través de un entorno accesible y motivador. En este entorno se proponen actividades de aprendizaje activo y corporal (embodied learning) para reforzar la conexión fenómeno–representación (Thornton y Sokoloff, 1998), integrando pensamiento computacional en física a partir de la sensorización, procesamiento y visualización de datos (Weintrop et al., 2016), junto con estrategias de gamificación para incrementar la motivación y el compromiso con la tarea (Deterding et al., 2011).

II. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO

MissionMotion es una aplicación web multiplataforma que recibe datos en tiempo real desde sensores y los representa gráficamente junto a una gráfica objetivo que el jugador/estudiante debe reproducir/imitar. En la pantalla aparece una pelota de papel que se mueve sobre un sistema de referencia representado por una regla. Durante el movimiento, es posible visualizar en tiempo real su posición o su velocidad. Las gráficas a imitar son de posición o velocidad en función del tiempo, y la pelota se puede mover utilizando el mouse, trackpad, pantalla táctil, o sensores ultrasónicos conectados a *micro:bit* o *Arduino*. La Figura 1 contiene una captura de pantalla del juego, donde se puede ver la pelota, la regla, la gráfica objetivo y cómo se va construyendo la gráfica en ese instante del movimiento. En función de la similitud entre las gráficas se le otorga una puntuación al jugador.

La propuesta contempla distintos niveles de dificultad, modalidades de participación individual y colaborativa, y un sistema de evaluación basado en el grado de correspondencia entre la gráfica generada por el estudiante y la gráfica de referencia. La interacción puede llevarse a cabo mediante movimientos corporales, manipulación directa de dispositivos o control robótico, incorporando retroalimentación visual inmediata que favorece la autorregulación y el perfeccionamiento progresivo a través de la iteración.

El uso de sensores de ultrasonido en plataformas como *micro:bit* o *Arduino* amplía las posibilidades pedagógicas. Permite diseñar actividades donde los estudiantes programan las placas, configuran la conexión de los sensores y utilizan el entorno lúdico como recurso para desarrollar el pensamiento computacional. En etapas más avanzadas,

incluso es posible integrar robots programados para reproducir el movimiento objetivo, potenciando así tanto las competencias técnicas como la comprensión conceptual del fenómeno físico representado.

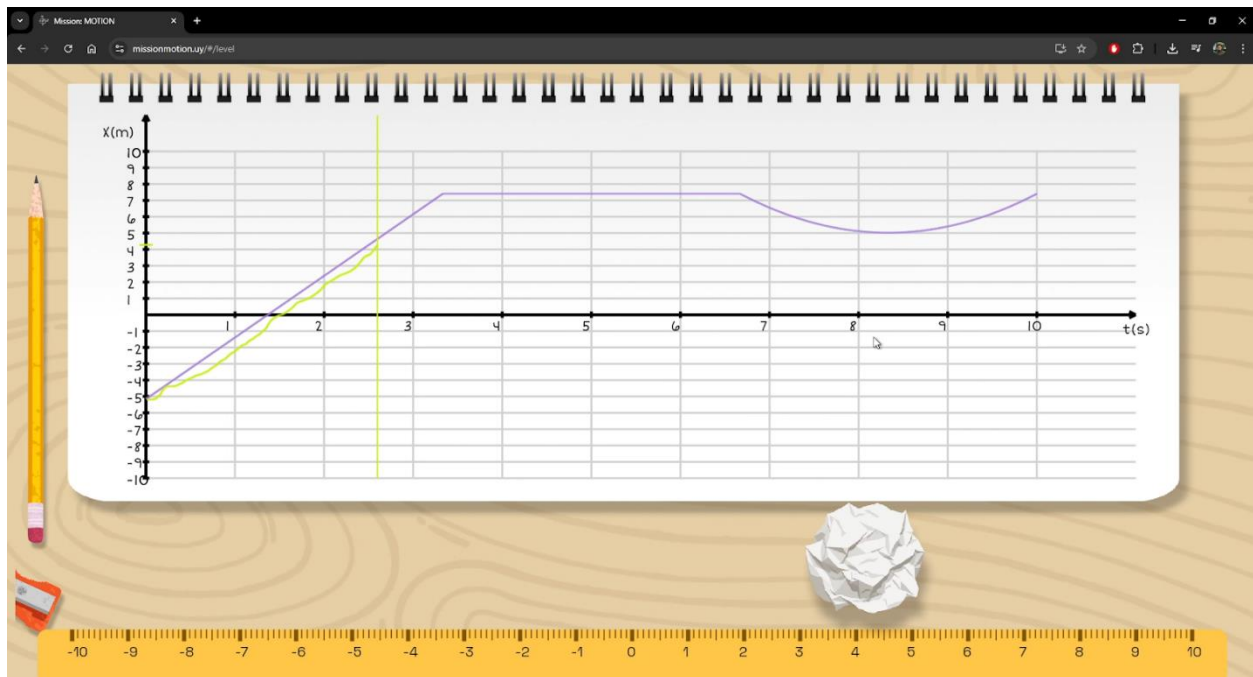


FIGURA 1. Captura de pantalla del videojuego en el nivel difícil. La línea violeta es la que se debía imitar con el movimiento de la pelota de papel que se representa con el trazo verde. La línea vertical indica el tiempo actual.

III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN DE IMPACTO

En primera instancia, realizamos una fase piloto de evaluación con 54 estudiantes de 9º grado (14-15 años) que realizaron actividades en el entorno en una sesión de 2 horas. En esta etapa los objetivos fueron evaluar la experiencia de juego y su potencial motivador, detectar ajustes técnicos y pedagógicos necesarios y observar dinámicas de interacción y estrategias de resolución. En las actividades, cada estudiante trabajó en una computadora y controló el objeto únicamente con el mouse. Al inicio jugaron de manera individual, a su propio ritmo, y posteriormente participaron en una sesión colectiva en la que compitieron en los mismos niveles.

En esta etapa implementamos el cuestionario *MEEGA+* (Model for the Evaluation of Educational Games) (Petri et al., 2018), un instrumento validado internacionalmente que evalúa múltiples dimensiones de la usabilidad y la experiencia de juego en entornos educativos. Entre los aspectos evaluados se incluyen la diversión y el desafío, el aprendizaje percibido, la facilidad de uso, la interacción social (cooperación y competencia), así como la inmersión y la atención. Optamos por el *MEEGA+* porque ofrece un diagnóstico integral, segmentado en factores específicos que orientan mejoras concretas en el diseño del juego y en la dinámica de aula.

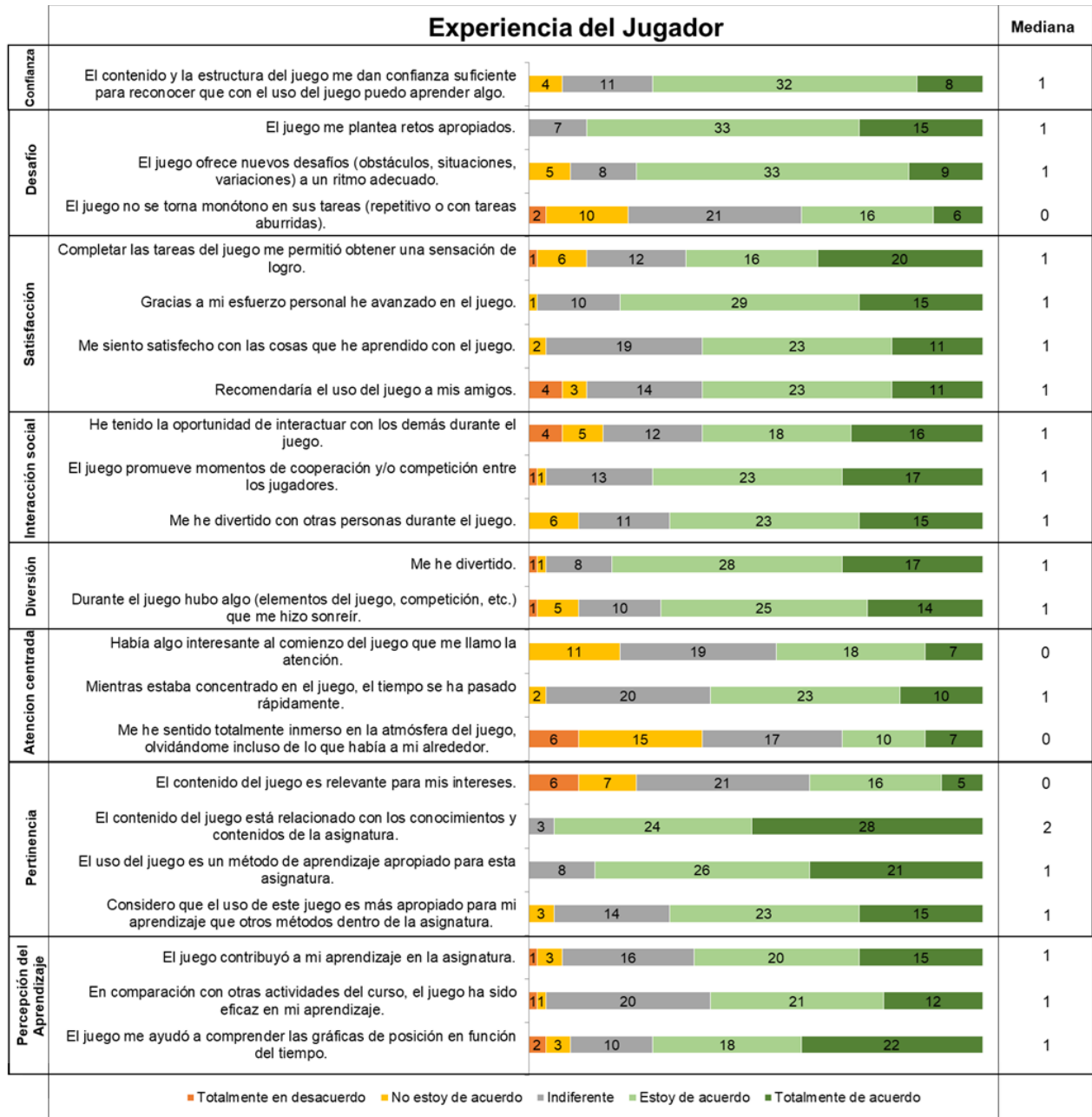
En una segunda etapa, está previsto implementar la propuesta en 4–5 centros educativos con una muestra de 150–200 estudiantes, bajo un diseño experimental con grupos de control y experimental. En esta etapa no solo se evaluará la herramienta, sino también los aprendizajes de los estudiantes en algunas secuencias didácticas implementadas en ella. Para ello se considera la aplicación de test estandarizados como el TUG-K modificado (Zavala et al., 2017), lo que permitirá medir la comprensión de gráficas de cinemática y evaluar el impacto conceptual de la intervención.

IV. PRIMEROS RESULTADOS

En la fase piloto, los resultados obtenidos mediante el instrumento *MEEGA+* evidenciaron una alta valoración por parte de los estudiantes participantes en diversos aspectos clave de la propuesta. El 92 % de las respuestas fueron positivas en relación con el diseño y la estética, destacando la percepción de un entorno visualmente atractivo y motivador. La sensación de desafío y logro alcanzó un 88 % de respuestas favorables, lo que sugiere que la experiencia

resultó estimulante sin dejar de ser alcanzable para la mayoría. En cuanto al aprendizaje percibido, un 85 % de las respuestas indicaron que la actividad contribuyó de manera significativa a la comprensión de los contenidos. Finalmente, más del 70 % de los estudiantes señalaron que la propuesta fomentó la interacción social, reforzando así su potencial como recurso colaborativo. En la figura 2 se indica un esquema global de los resultados.

En los comentarios abiertos, los estudiantes resaltaron la diversión y la claridad del feedback visual, así como la motivación generada por el formato de juego. Asimismo, señalaron que los modos de competencia entre grupos incrementaron la participación y el compromiso. Las observaciones de aula corroboraron estas percepciones: se evidenció que los estudiantes ajustaban el movimiento del objeto de manera intencional para mejorar la coincidencia con la gráfica objetivo, surgían discusiones espontáneas sobre estrategias para “batir el puntaje” y, de forma destacable, incluso aquellos estudiantes que habitualmente mostraban una participación pasiva se involucraron de manera activa en la actividad.



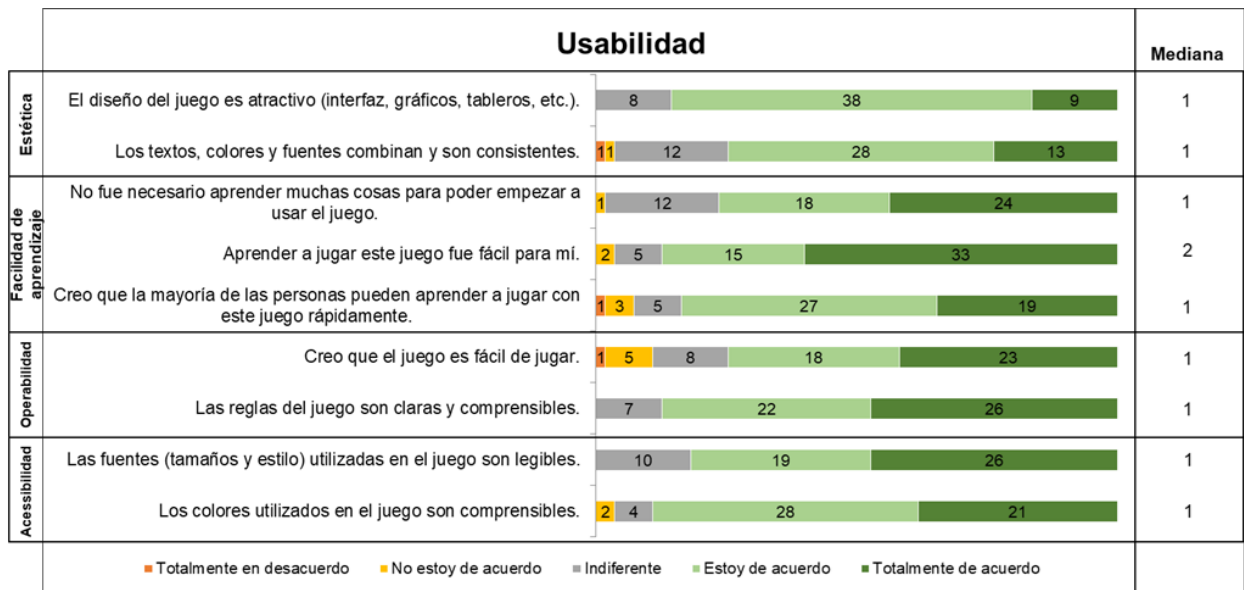


FIGURA 2. Resumen de los resultados de la aplicación del test. Para cada afirmación se indica con código de colores el grado de acuerdo y el número de estudiantes que indicó dicho grado. La mediana se calcula puntuando como -2 a los que respondieron que están totalmente en desacuerdo, -1 los que no están de acuerdo, 0 el indiferente, 1 de acuerdo y 2 totalmente de acuerdo.

V. DISCUSIÓN

La aplicación del MEEGA+ en la fase piloto resultó fundamental para constatar que *MissionMotion* no solo es técnicamente viable, sino que también promueve elevados niveles de compromiso y una alta percepción de aprendizaje por parte de los estudiantes. Este instrumento permitió identificar fortalezas clave —como el diseño atractivo, la retroalimentación inmediata y el fomento de la interacción social—, así como áreas de mejora, entre ellas el ajuste de la dificultad y la calibración de los sensores. En concordancia con los planteamientos de Ainsworth (2006) y Freeman et al. (2014), los resultados respaldan que la integración de actividad física, representaciones múltiples y gamificación potencia el aprendizaje activo y la motivación intrínseca. En la siguiente etapa, la incorporación del *TUG-K* modificado permitirá evaluar de manera cuantitativa el impacto de la propuesta en la comprensión conceptual de gráficas cinemáticas.

VI. CONCLUSIONES Y PROYECCIONES

El proyecto *MissionMotion* se posiciona como una propuesta innovadora para la enseñanza de la cinemática, combinando sensorización, experiencia corporal, gamificación y retroalimentación inmediata en un mismo entorno de aprendizaje. Los resultados preliminares obtenidos con el MEEGA+ muestran que los estudiantes no solo perciben la experiencia como atractiva y motivadora, sino que también la valoran como una herramienta útil para mejorar su comprensión de los conceptos físicos. Este enfoque contribuye a derribar barreras tradicionales en la enseñanza, fomentando la participación activa, la colaboración y la integración de múltiples formas de representación.

De cara al futuro, el potencial de *MissionMotion* se amplía hacia escenarios de mayor alcance y diversidad. La implementación a gran escala en distintos contextos educativos permitirá explorar su adaptabilidad y robustez pedagógica. La incorporación del *TUG-K* modificado aportará evidencia cuantitativa sobre su impacto en la comprensión conceptual, mientras que el análisis del pensamiento computacional implicado abrirá nuevas líneas de investigación interdisciplinar. Finalmente, la publicación de los resultados y la liberación de recursos en formato abierto garantizarán que la propuesta pueda ser replicada y adaptada por la comunidad educativa, impulsando así un movimiento global hacia experiencias de aprendizaje más activas, inclusivas y motivadoras.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo del Fondo Sectorial de Educación de ANII, Plan Ceibal y las instituciones educativas y docentes participantes.

REFERENCIAS

- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183–198.
- Beichner, R. J. (1994). Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, 62(8), 750–762.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R. y Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: defining gamification. *MindTrek*, 9–15.
- Dutra, M., Suárez, Á. y Marti, A. C. (2025). Code in Motion: Integrating Computational Thinking with Kinematics Exploration. *ArXiv*. [arXiv:2503.03850](https://arxiv.org/abs/2503.03850)
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H. y Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415.
- Petri, G., von Wangenheim, C. G. y Borgatto, A. F. (2018). *Technical Report MEEGA+: A Method for the Evaluation of Educational Games for Computing Education INCoD/GQS*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74.
- Jufriadi, A., Kusairi, S. y Sutopo, S. (2021). Exploration of student's understanding of distance and displacement concept. *Journal of Physics: Conference Series*, 1869(1), 012195.
- McDermott, L. C., Rosenquist, M. L. y van Zee, E. H. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55(6), 503–513.
- Thornton, R. K. y Sokoloff, D. R. (1998). Assessing student learning of Newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation. *American Journal of Physics*, 66(4), 338–352.
- Weintrop, D., Beheshti, E. y Horn, M. (2016). Defining computational thinking for mathematics and science classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25(1), 127–147.
- Zavala, G., Tejada-Torres, S., Barniol, P. y Beichner, R. J. (2017). Modifying the Test of Understanding Graphs in Kinematics. *Physical Review Physics Education Research*, 13(2), 020111.