

Dynamic Visualization of Forces through Natural Interaction in STEM Education

Visualización dinámica de fuerzas mediante interacción natural en educación STEM

Autores:

Hurtado-Caina, Jennifer Samanta
UNIVERSIDAD BOLIVARIANA DEL ECUADOR

Ing. Mecatrónica
Estudiante de Maestría

Durán - Ecuador



jshurtadoc@ube.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0009-0337-7130>

Miranda-Caina, Génesis Yessenia
UNIVERSIDAD BOLIVARIANA DEL ECUADOR

Lcda. Ciencias de la Educación
Estudiante de Maestría

Durán - Ecuador



gymirandac@ube.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-6736-0724>

Guzmán-Hernández, Ramón
UNIVERSIDAD BOLIVARIANA DEL ECUADOR

Ph.D. en Ciencias Pedagógicas
Docente

Durán - Ecuador



rguzman@bolivariano.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-3190-4808>

Baque-Arteaga, Miguel Eduardo
UNIVERSIDAD BOLIVARIANA DEL ECUADOR
Ing. en Sistemas, Mgtr. en Sistemas de Información Gerencial

Docente Tutor

Durán - Ecuador



mebaquea@ube.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0000-6451-1326>

Fechas de recepción: 29-AGO-2025 aceptación: 29-SEP-2025 publicación: 30-SEP-2025



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



Resumen

En el aprendizaje de la física, se requiere comprensión de las interacciones entre fuerzas y el desarrollo del razonamiento científico. Sin embargo, los estudiantes suelen enfrentar dificultades al abstraer, representar gráficamente y conceptualizar las fuerzas que actúan sobre un objeto, lo que limita su capacidad de análisis y resolución de problemas. El presente estudio se centra en el diseño e implementación de un entorno interactivo que integra el sensor Leap Motion con la plataforma Unity, permitiendo a los estudiantes manipular diagramas de cuerpo libre en cinco escenarios virtuales. A través de la interacción natural basada en gestos de la mano, los participantes arrastraron y ubicaron etiquetas de fuerzas, experimentando de manera dinámica la construcción y análisis de los diagramas. La metodología adoptada fue de tipo cuantitativo con un diseño pre-post test, complementado con un componente cualitativo mediante la aplicación de una escala de usabilidad y un cuestionario de motivación intrínseca. La muestra estuvo compuesta por 25 estudiantes del curso introductorio a ingeniería. Los resultados evidenciaron mejoras significativas en la comprensión de los diagramas de cuerpo libre tras la intervención, así como una percepción de usabilidad elevada ($SUS = 94,7$) y altos niveles de motivación intrínseca ($IMI = 6,55$ en promedio). Estos hallazgos sugieren que la integración de tecnologías de interacción natural puede potenciar tanto el aprendizaje conceptual como la experiencia formativa en contextos educativos STEM.

Palabras clave: Diagramas de cuerpo libre; ambiente virtual; usabilidad; Leap Motion; motivación intrínseca; STEM



Abstract

In the learning of physics, understanding the interactions between forces and the development of scientific reasoning is required. However, students often face difficulties in abstracting, graphically representing, and conceptualizing the forces acting on an object, which limits their ability to analyze and solve problems. The present study focuses on the design and implementation of an interactive environment that integrates the Leap Motion sensor with the Unity platform, allowing students to manipulate free-body diagrams in five virtual scenarios. Through natural interaction based on hand gestures, participants dragged and placed force labels, dynamically experiencing the construction and analysis of the diagrams. The methodology adopted was quantitative with a pre–post test design, complemented with a qualitative component through the application of a usability scale and an intrinsic motivation questionnaire. The sample consisted of 25 students from the introductory engineering course. The results showed significant improvements in the understanding of free-body diagrams after the intervention, as well as a high perception of usability (SUS = 94.7) and high levels of intrinsic motivation (IMI = 6.55 on average). These findings suggest that the integration of natural interaction technologies can enhance both conceptual learning and the formative experience in STEM educational contexts.

Keywords: Free-body diagrams; virtual environment; usability; Leap Motion; intrinsic motivation; STEM

Introducción

Los diagramas de cuerpo libre constituyen una de las herramientas gráficas más utilizadas en la enseñanza de la física, especialmente en la mecánica clásica (Pranata & Noperma, 2023). A través de su elaboración, los estudiantes representan las fuerzas que actúan sobre un objeto, lo que facilita la transición desde una situación real a un modelo conceptual y matemático. Su aprendizaje se ubica en las primeras etapas de la formación en física, debido a que sirven como base para el análisis de fenómenos más complejos relacionados con el movimiento, el equilibrio y la dinámica de sistemas (Pratiwi et al., 2021).

En el ámbito de la educación STEM, los diagramas de cuerpo libre permiten establecer un puente entre la observación empírica y el razonamiento abstracto (Vázquez-Sánchez & Delgado, 2025). Para comprender de manera adecuada conceptos como la segunda ley de Newton, la fricción, la normal o la resultante de fuerzas, los estudiantes necesitan identificar no solo la magnitud de las interacciones físicas, sino también su dirección y sentido. En este proceso, la representación gráfica se convierte en un recurso fundamental para organizar el pensamiento y orientar la resolución de problemas (Utami & Nurlaela, 2021).

La enseñanza de los diagramas de cuerpo libre se integra además en diversos niveles y contextos formativos. En la educación secundaria, su introducción brinda un primer acercamiento a la formalización de modelos físicos; mientras que, en la educación superior, constituyen un paso previo indispensable para abordar cursos de ingeniería, dinámica de materiales y análisis estructural. Esta transversalidad dentro de los programas STEM refuerza la necesidad de que los estudiantes desarrollen competencias sólidas en la construcción e interpretación de los diagramas (Varela-Aldás et al., 2020).

Por su carácter gráfico, los diagramas de cuerpo libre también permiten vincular la teoría con la práctica experimental. En laboratorios de física, los estudiantes pueden relacionar las fuerzas representadas con mediciones empíricas, fortaleciendo así la comprensión de los principios subyacentes (Taylor et al., 2023). Esta función didáctica ha motivado la búsqueda de nuevas estrategias de enseñanza que favorezcan la correcta elaboración e interpretación de los diagramas en diferentes contextos de aprendizaje.

El aprendizaje de los diagramas de cuerpo libre suele estar acompañado de diversas dificultades conceptuales y procedimentales. Una de las principales barreras es la



abstracción, ya que los estudiantes deben pasar de una situación cotidiana observable a una representación simbólica que no siempre resulta evidente. Esta transición exige reconocer que un mismo objeto puede estar sujeto a múltiples interacciones, cuya identificación requiere un nivel de pensamiento abstracto que no todos logran alcanzar en etapas iniciales (Niyomufasha et al., 2024).

Otra dificultad recurrente está relacionada con la representación gráfica. Elaborar un diagrama de cuerpo libre implica identificar las fuerzas y traducirlas en vectores con dirección, sentido y magnitud adecuada. Sin embargo, los errores en la orientación, la omisión de fuerzas o la confusión entre el objeto de estudio y su entorno suelen ser frecuentes. Estas limitaciones gráficas afectan la correcta construcción del modelo y, en consecuencia, la resolución de problemas físicos posteriores (Tang, 2023).

Las dificultades descritas en torno a la abstracción, la representación gráfica y la conceptualización de fuerzas han impulsado la búsqueda de estrategias pedagógicas innovadoras. En este escenario, los entornos digitales han comenzado a ocupar un lugar destacado al ofrecer recursos visuales y dinámicos que permiten representar fenómenos físicos de manera más intuitiva. Estos entornos favorecen la visualización interactiva y contribuyen a que los estudiantes establezcan relaciones más claras entre los modelos teóricos y las situaciones reales.

Dentro de estas innovaciones, las tecnologías de interacción natural se presentan como una alternativa que trasciende el uso de materiales impresos o simulaciones tradicionales. Al incorporar dispositivos que capturan movimientos y gestos, los estudiantes pueden manipular representaciones de fuerzas y cuerpos en un espacio virtual, facilitando el proceso de comprensión de conceptos abstractos. Esta aproximación busca reducir la distancia entre la experiencia física directa y la formalización gráfica requerida en el estudio de los diagramas de cuerpo libre (Bagher et al., 2021).

Dentro del abanico de tecnologías interactivas, el sensor Leap Motion ha destacado por su capacidad de reconocer gestos y movimientos de las manos en tiempo real, lo que lo convierte en una herramienta adecuada para experiencias de aprendizaje basadas en interacción natural (Bhiri et al., 2025). Su aplicación en el ámbito educativo ha permitido diseñar entornos donde los estudiantes manipulan objetos virtuales sin necesidad de

controladores físicos, lo que amplía las posibilidades de exploración y experimentación en disciplinas como física, matemáticas e ingeniería.

Por su parte, Unity se ha consolidado como una de las plataformas de desarrollo más versátiles para la creación de entornos educativos digitales. Su capacidad para integrar dispositivos de captura de movimiento, como el Leap Motion, facilita el diseño de escenarios interactivos adaptados a distintos contextos de enseñanza. En el campo de la educación STEM, el uso de Unity permite combinar simulaciones, visualizaciones tridimensionales y mecánicas de interacción que potencian el aprendizaje activo y la construcción de modelos conceptuales complejos (Fang & Wang, 2024).

La incorporación de tecnologías como Leap Motion y Unity no solo responde a una necesidad de representación visual más precisa, sino que también introduce una nueva dimensión en la experiencia de aprendizaje. El uso de interfaces digitales interactivas involucra factores asociados a la motivación del estudiante y a la usabilidad del sistema, los cuales influyen directamente en la aceptación y efectividad de las herramientas educativas. Las investigaciones recientes en educación STEM destacan la relevancia de los entornos digitales interactivos para apoyar la comprensión de conceptos abstractos. (Abrahamson & Abdu, 2021) proponen un marco de diseño ecológico-dinámico para el aprendizaje conceptual a través de la interacción corporal en entornos matemáticos dinámicos, resaltando cómo las restricciones del diseño influyen en la construcción de estructuras cognitivas. De manera complementaria, (Ziatdinov & Valles, 2022) muestran el potencial de GeoGebra en la enseñanza de matemáticas e ingeniería mediante la integración de modelado, visualización y programación, lo que evidencia la efectividad de las interfaces dinámicas para reforzar el aprendizaje de fenómenos físicos y matemáticos. Estas aportaciones señalan una tendencia hacia la adopción de herramientas digitales que permitan una mayor interactividad y que faciliten la transición del plano teórico a la representación visual y manipulativa del conocimiento.

Paralelamente, las tecnologías emergentes como la realidad aumentada y la realidad virtual han cobrado protagonismo en la educación científica. (Osadchy et al., 2021) destacan que la realidad aumentada favorece la motivación y el trabajo colaborativo en disciplinas STEM, mientras que (Chiu, 2021) sistematiza la incorporación de tecnologías emergentes en la

educación química, encontrando que las aplicaciones de RA y RV son las más investigadas en laboratorios virtuales y en la visualización de estructuras. En esta misma línea, en el Ecuador, (Arroba et al., 2023) plantean una propuesta innovadora que integra conocimiento cultural local en la enseñanza de química mediante guías prácticas y experiencias inmersivas, reforzando el vínculo entre ciencia y contexto sociocultural. Estos antecedentes evidencian que la RV, al igual que otras tecnologías inmersivas, constituye una vía prometedora para superar las limitaciones de los enfoques tradicionales y potenciar tanto la comprensión conceptual como la motivación en entornos educativos STEM.

En este sentido, evaluar cómo los estudiantes perciben la facilidad de uso de la tecnología y el interés que les genera la actividad se vuelve esencial para comprender el impacto real de estas innovaciones en el aula. De esta manera, la relación entre motivación, usabilidad y aprendizaje efectivo se configura como un eje central en los contextos de innovación educativa, articulando no solo los beneficios cognitivos, sino también los aspectos afectivos y prácticos del proceso formativo. Si bien existen experiencias documentadas con entornos digitales interactivos en matemáticas, química y otras disciplinas STEM, todavía se reportan pocos estudios centrados en la enseñanza de la física mediante tecnologías de interacción natural aplicadas específicamente a la construcción de diagramas de cuerpo libre. Esta carencia limita la comprensión sobre cómo dichas tecnologías pueden apoyar tanto la representación gráfica de fuerzas como el desarrollo de la motivación y la percepción de usabilidad en los estudiantes.

Considerando estas dificultades y el potencial de los entornos digitales inmersivos, se planteó el diseño de una propuesta educativa basada en la integración de Leap Motion y Unity. El objetivo principal de este estudio es evaluar la comprensión de los diagramas de cuerpo libre mediante un entorno interactivo, así como analizar la percepción de usabilidad de la herramienta y la motivación intrínseca de los estudiantes durante su uso. Este propósito busca aportar evidencia sobre la pertinencia de incorporar tecnologías de interacción natural en la enseñanza de la física, con miras a fortalecer tanto el aprendizaje conceptual como la experiencia formativa en contextos STEM.

En este estudio se consideran tres ejes de análisis vinculados a la experiencia de aprendizaje: la comprensión conceptual, asociada al desarrollo de habilidades para representar y analizar



diagramas de cuerpo libre; la usabilidad, entendida como la percepción de facilidad, claridad y efectividad en el uso del entorno digital; y la motivación intrínseca, relacionada con el interés, disfrute y esfuerzo que los estudiantes manifiestan al interactuar con la propuesta. La articulación de estas variables permite valorar no solo el aprendizaje de contenidos específicos de física, sino también la forma en que las tecnologías de interacción natural influyen en la experiencia educativa de manera integral.

Material y métodos

Diseño del estudio

El presente trabajo se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo con diseño pre-post test aplicado a una prueba de conocimientos, complementado con un componente cualitativo basado en escalas de percepción. El muestreo fue de tipo no probabilístico por conveniencia, considerando a los estudiantes que se encontraban matriculados en el curso introductorio a ingeniería y que, además, aceptaron participar mediante la firma del consentimiento informado. Esta combinación metodológica permitió no solo evaluar los cambios en el nivel de comprensión de los estudiantes antes y después de la intervención, sino también recoger información sobre la usabilidad de la herramienta y la motivación intrínseca experimentada durante su uso.

Participantes

La muestra estuvo compuesta por 25 estudiantes del curso introductorio a las carreras de ingeniería de una universidad pública ecuatoriana, correspondiente al primer ciclo de formación universitaria. El grupo incluyó 14 hombres y 11 mujeres, con una edad promedio de 18,46 años ($DE = 0,5$). Los estudiantes fueron seleccionados mediante un muestreo por conveniencia y participaron de manera voluntaria tras firmar el consentimiento informado. Se garantizó la confidencialidad de la información en todas las fases del estudio.

Propuesta educativa

La intervención se centró en la propuesta denominada “Entorno interactivo para el aprendizaje de diagramas de cuerpo libre con Leap Motion y Unity”, cuyo objetivo fue fortalecer la comprensión conceptual de las fuerzas y su representación gráfica en diagramas de cuerpo libre. La propuesta abordó temas vinculados a la identificación de fuerzas (peso, normal, fricción y fuerzas aplicadas), la descomposición vectorial y la representación



correcta de magnitudes y direcciones. Para ello se diseñaron cinco escenarios digitales en Unity, integrados con el sensor Leap Motion, que permitieron a los estudiantes manipular etiquetas de fuerzas mediante interacción gestual.

Instrumentos

Para la recolección de datos se emplearon tres instrumentos principales. En primer lugar, se aplicó una prueba de conocimientos en dos momentos (pretest y postest), con el fin de evaluar la comprensión de los diagramas de cuerpo libre. En segundo lugar, se utilizó la escala System Usability Scale (SUS) en su versión en español, compuesta por diez ítems tipo Likert, destinada a medir la percepción de usabilidad del entorno. Finalmente, se aplicó el Inventario de Motivación Intrínseca (IMI) en su versión abreviada y adaptada al español de 9 preguntas, diseñado para identificar los niveles de interés, disfrute y esfuerzo invertido por los estudiantes durante la actividad.

Procedimiento

La intervención se desarrolló en varias fases. Inicialmente, los estudiantes respondieron la prueba diagnóstica (pretest) que permitió establecer su nivel de conocimientos previos sobre diagramas de cuerpo libre. Posteriormente, se presentó el entorno interactivo diseñado en Unity e integrado con Leap Motion, en el cual se desarrollaron cinco escenarios representando diferentes diagramas. Durante un tiempo aproximado de cuarenta y cinco minutos, los participantes interactuaron con el sistema, arrastrando y ubicando etiquetas correspondientes a fuerzas como el peso, la normal, la fricción y fuerzas aplicadas sobre los cuerpos representados. Al concluir la experiencia, se administró nuevamente la prueba de conocimientos (postest) y, de manera complementaria, se aplicaron los cuestionarios SUS e IMI para recoger la percepción de los estudiantes respecto a la usabilidad y la motivación generada por la herramienta.

Análisis de datos

Los resultados del pre-post test de conocimientos fueron procesados en el software SPSS Statistics versión 26, aplicando estadística descriptiva (medias y desviaciones estándar) e inferencial. La normalidad de los datos se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk, cuyos resultados indicaron la ausencia de distribución normal. En consecuencia, la comparación



entre los puntajes del pretest y posttest se realizó mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas, con un nivel de significancia de 0,05.

Las puntuaciones de la escala SUS se transformaron al rango de 0 a 100 y se interpretaron conforme a los criterios establecidos en la literatura sobre usabilidad de sistemas. En el caso del inventario IMI, se calcularon los promedios correspondientes a cada dimensión (interés/disfrute, valor percibido y esfuerzo), con el propósito de caracterizar los niveles de motivación intrínseca experimentados durante la actividad.

Consideraciones éticas

El estudio se desarrolló de acuerdo con los principios éticos internacionales para investigaciones con seres humanos, asegurando el respeto, la beneficencia y la justicia. Antes de iniciar la intervención, los estudiantes fueron informados sobre los objetivos, procedimientos, beneficios y posibles riesgos de la investigación. La participación fue totalmente voluntaria y se recabó el consentimiento informado firmado por cada estudiante, garantizando la confidencialidad de los datos y el uso exclusivo de la información con fines académicos. Se dejó explícito que los participantes podían retirarse del estudio en cualquier momento sin consecuencias académicas ni personales.

Desarrollo de la herramienta

Desarrollo de la herramienta

La propuesta educativa se implementó mediante la integración del sensor Leap Motion con el motor de desarrollo Unity 3D. El Leap Motion permitió capturar en tiempo real los movimientos de las manos de los estudiantes, generando una experiencia de interacción natural sin necesidad de controladores físicos adicionales. Esta integración técnica se realizó a través del SDK oficial de Leap Motion para Unity, lo que permitió mapear los gestos manuales a acciones específicas dentro del entorno virtual, como arrastrar, soltar o ubicar etiquetas de fuerzas sobre los cuerpos representados.

Para garantizar la estabilidad de la aplicación, se configuró un sistema de detección de colisiones y validación de posiciones que aseguraba que las etiquetas solo pudieran colocarse en las áreas correspondientes de cada diagrama. Además, se utilizaron scripts en C# para definir las reglas de interacción y la lógica de retroalimentación inmediata, de modo que al ubicar una fuerza correctamente el sistema generaba un refuerzo visual y, en caso de error,

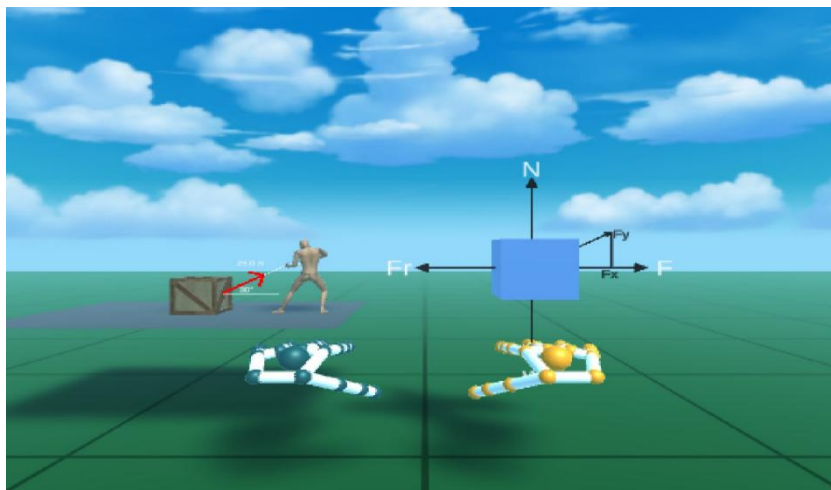


se ofrecía la posibilidad de reajustar la acción. La representación gráfica de las fuerzas se realizó mediante vectores tridimensionales con magnitud y dirección, lo que permitió a los estudiantes experimentar con escenarios dinámicos y más cercanos a la realidad física.

Se diseñaron cinco escenarios interactivos, cada uno orientado a un tipo particular de situación física. En el primer escenario se representó el caso de un bloque sometido a una fuerza aplicada en ángulo, permitiendo visualizar la descomposición de la fuerza en sus componentes horizontal y vertical (Figura 1). El segundo escenario incorporó un bloque sobre un plano inclinado, donde los estudiantes debían reconocer la acción de la normal, la fricción y el peso descompuesto en sus componentes (Figura 2). El tercer escenario amplió la complejidad al incluir un sistema de plano inclinado con polea y masa colgante, lo que permitió analizar las tensiones y fuerzas en equilibrio (Figura 3). El cuarto escenario representó un sistema con poleas y cargas suspendidas, en el cual la tensión se distribuía en los cuerpos y debía relacionarse con el peso correspondiente (Figura 4). Finalmente, un quinto escenario se destinó a la representación libre de fuerzas sobre distintos cuerpos, permitiendo a los estudiantes aplicar lo aprendido en situaciones de mayor flexibilidad y consolidar la comprensión conceptual mediante la manipulación abierta de las fuerzas (Figura 5).

Figura 1

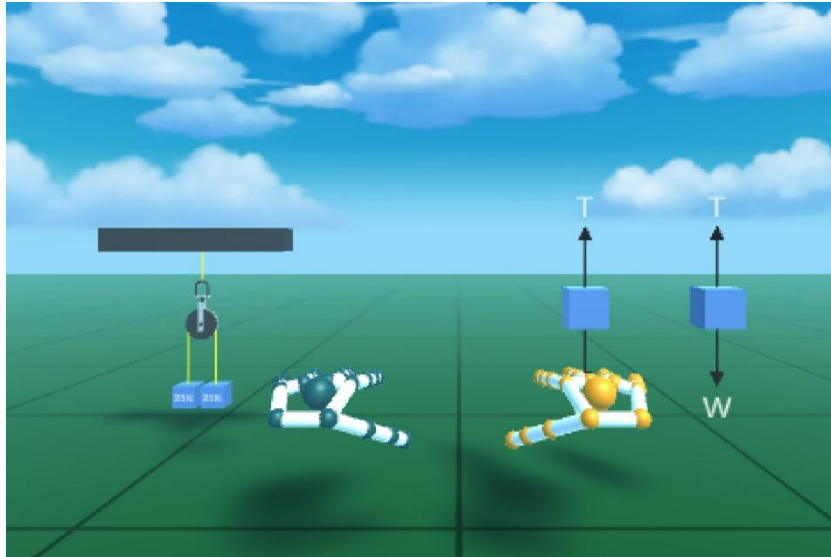
Escenario de bloque con fuerza aplicada en ángulo



Fuente: Elaboración propia (software Unity)

Figura 1

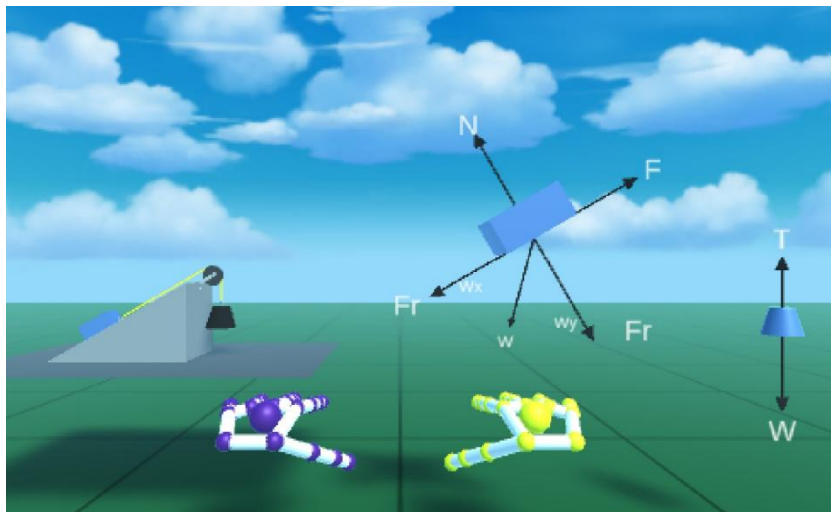
Escenario de bloque sobre plano inclinado



Fuente: Elaboración propia (software Unity)

Figura 3

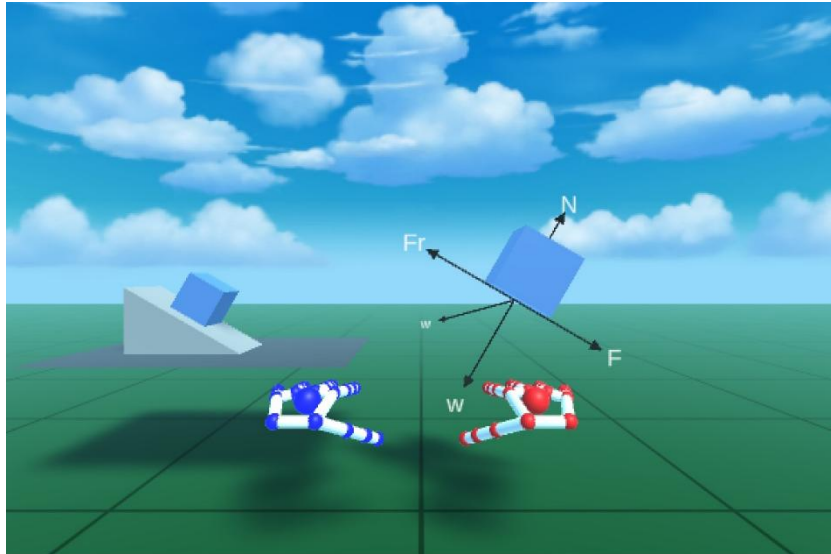
Escenario de plano inclinado con polea y masa colgante



Fuente: Elaboración propia (software Unity)

Figura 4

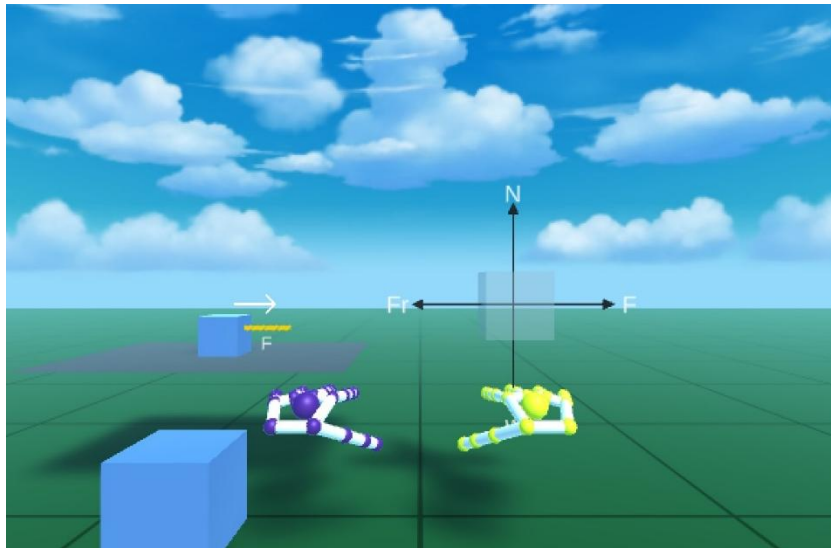
Escenario de sistema de poleas con cargas suspendidas



Fuente: Elaboración propia (software Unity)

Figura 5

Escenario de representación libre de fuerzas sobre
diferentes cuerpos



Fuente: Elaboración propia (software Unity)

La interacción principal de los estudiantes consistió en arrastrar y ubicar etiquetas de fuerzas sobre los cuerpos representados en la escena. Estas etiquetas incluían las fuerzas más relevantes de cada situación, tales como peso, normal, fricción, tensión o fuerzas aplicadas. El entorno validaba la ubicación correcta y proporcionaba retroalimentación inmediata, reforzando la comprensión conceptual de los participantes.

Análisis y resultados

Conocimiento

En total participaron 25 estudiantes del curso introductorio a ingeniería. Los resultados obtenidos en la prueba de conocimientos, aplicada en dos momentos (antes y después de la intervención), evidencian un incremento en el nivel de comprensión de los diagramas de cuerpo libre, correspondiente a la primera variable de análisis. Mientras que en el pretest los puntajes reflejaron un dominio parcial y, en algunos casos, dificultades para identificar correctamente las fuerzas en situaciones físicas, en el postest se observó una mejora significativa en la precisión con la que los participantes representaron y analizaron las interacciones.

La prueba de normalidad realizada previamente mostró que los puntajes del pretest y postest no seguían una distribución normal, por lo que se optó por aplicar un análisis no paramétrico. En este caso, la prueba de rangos con signo de Wilcoxon confirmó la existencia de una diferencia significativa entre ambas mediciones, evidenciando un cambio estadísticamente relevante en los niveles de comprensión de los diagramas de cuerpo libre ($Z = 4,22$; $p < .001$). Estos hallazgos sugieren que la interacción con el entorno desarrollado tuvo un efecto positivo en la construcción conceptual de los estudiantes. La Tabla 1 presenta el resumen del análisis realizado con la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas, y la Figura 6 ilustra la interacción de un participante con el sistema.

Tabla 1

Resultados de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para la comparación entre pretest y postest en la prueba de conocimientos

N	Estadístico de prueba	Error estándar	Estadístico estandarizado (Z)	Sig. asintótica (bilateral)
25	276,000	32,676	4,223	<,001

Fuente: Elaboración propia



Figura 6

Estudiante interactuando con la aplicación virtual



Fuente: Elaboración propia. El rostro fue difuminado para proteger la identidad del participante

Usabilidad

La segunda variable analizada corresponde a la percepción de usabilidad del sistema, evaluada mediante la escala SUS. Los puntajes promedio obtenidos en los diez ítems se ubicaron dentro de los rangos considerados como altos en la literatura, alcanzando un puntaje total de 94,7 sobre 100. Esto indica que los estudiantes percibieron la aplicación como altamente usable, clara en su funcionamiento y efectiva para apoyar la actividad de aprendizaje. La interacción a través de Leap Motion resultó intuitiva, sin reportarse mayores dificultades técnicas en el manejo de las funciones básicas del entorno. La Tabla 2 resume los resultados de cada ítem del SUS.

Tabla 2

Resultados de la escala SUS aplicada a los 25 participantes

Pregunta	Media	Puntaje SUS
1	4,56	3,56
2	1,00	4,00
3	4,56	3,56
4	1,00	4,00
5	4,64	3,64
6	1,00	4,00
7	4,56	3,56
8	1,00	4,00
9	4,56	3,56
10	1,00	4,00
Sumatoria		37,88
Total general		94,7

Fuente: Elaboración propia

Motivación

La tercera variable analizada fue la motivación intrínseca fue medida mediante la aplicación de inventario IMI en su versión abreviada. Los resultados evidenciaron puntajes elevados en las tres dimensiones evaluadas, con promedios de 6,88 sobre 7 en interés/disfrute, 6,61 en valor o utilidad percibida y 6,15 en esfuerzo/ importancia, sobre una escala de 1 a 7. El puntaje general alcanzó un promedio de 6,55, lo que refleja una alta motivación de los participantes. Estos hallazgos indican que los estudiantes no solo encontraron atractiva la actividad, sino que también la valoraron como relevante para su aprendizaje y estuvieron dispuestos a invertir esfuerzo en su desarrollo. La Tabla 3 resume las puntuaciones obtenidas en las diferentes dimensiones del IMI.

Tabla 3

Promedio por subescala del Inventario de Motivación Intrínseca

Subescala	Puntaje promedio
Interés/Disfrute	6,88
Valor/Utilidad percibida	6,61
Esfuerzo/Importancia	6,15
Total general	6,55

Fuente: Elaboración propia

Discusión

Impacto en la comprensión conceptual

Los resultados obtenidos en la prueba de conocimientos evidenciaron que los estudiantes lograron una mejor representación e interpretación de los diagramas de cuerpo libre tras la interacción con el entorno digital desarrollado. Este hallazgo coincide con lo planteado por (Abrahamson y Abdu, 2021), quienes destacan que los entornos de interacción corporal favorecen la construcción de estructuras cognitivas más sólidas al permitir que los estudiantes manipulen directamente representaciones abstractas. En la misma línea, la propuesta aquí presentada facilitó la transición de los participantes desde la observación empírica hacia la formalización gráfica y conceptual de las fuerzas actuantes en un sistema físico.

El impacto positivo en la comprensión conceptual también guarda relación con los beneficios reportados por (Ziatdinov y Valles, 2022), quienes demuestran que la integración de modelado, visualización y programación en herramientas digitales como GeoGebra potencia el aprendizaje en matemáticas e ingeniería. En este caso, la combinación de Leap Motion y Unity ofreció una experiencia similar, al integrar visualización tridimensional, manipulación directa y retroalimentación inmediata, elementos que facilitaron la internalización de conceptos tradicionalmente abstractos como la descomposición de fuerzas o el análisis de tensiones.

Asimismo, (Osadchy et al., 2021) señalan que la incorporación de tecnologías inmersivas incrementa la motivación y la participación en entornos STEM, lo que contribuye indirectamente al aprendizaje de contenidos complejos. En este estudio, dicha relación se reflejó en la disposición de los estudiantes para interactuar con los escenarios y en la mejora de sus respuestas en el posttest. Este resultado refuerza la idea de que la inmersión y la interactividad actúan como catalizadores del aprendizaje conceptual.

Más específicamente en el ámbito de la física, investigaciones recientes demuestran que la realidad virtual inmersiva puede mejorar la comprensión de fenómenos complejos. (Georgiou et al., 2021) muestran cómo el diseño de experiencias de aprendizaje con simulaciones en RV favorece la asimilación de conceptos abstractos como la relatividad especial. De manera complementaria, (Villada Castillo et al., 2025) evidencian que los juegos



serios en RV permiten incrementar significativamente el aprendizaje de conceptos de movimiento parabólico, al combinar el refuerzo conceptual con la motivación lúdica.

Cabe señalar, sin embargo, que la literatura específica sobre el uso de realidad virtual o interacción natural en la enseñanza de fuerzas y diagramas de cuerpo libre en física aún es escasa. Existen antecedentes sólidos en química (Chiu, 2021) y propuestas de integración cultural en ciencias (Arroba et al., 2023), pero los estudios centrados en este tema en física requieren mayor consolidación empírica. En este sentido, los resultados de la presente investigación aportan evidencia preliminar que contribuye a llenar dicho vacío.

Valor de la usabilidad y motivación para la adopción tecnológica

La percepción positiva de usabilidad observada mediante la escala SUS indica que la herramienta desarrollada alcanzó un nivel aceptable de facilidad de uso y claridad en la interacción. Este hallazgo es relevante si se considera que la usabilidad constituye un factor determinante para la adopción de tecnologías en contextos educativos, pues sistemas percibidos como complejos o poco intuitivos tienden a generar resistencia tanto en estudiantes como en docentes (Vlachogianni & Tselios, 2022). Estudios previos como los de (Liu & Liu, 2025; Shrestha et al., 2025) han empleado el SUS en entornos de realidad virtual y aumentada en educación STEM reportan resultados similares, subrayando la necesidad de contar con interfaces sencillas y consistentes para garantizar su aceptación.

En cuanto a la motivación, los resultados del IMI reflejaron niveles altos en interés/diversión y esfuerzo, lo que sugiere que la experiencia con el entorno favoreció la disposición activa de los estudiantes para aprender. Esta tendencia es coherente con la literatura que señala cómo los entornos interactivos e inmersivos estimulan el compromiso del alumnado y potencian el aprendizaje autorregulado (Kao & Harrell, 2018). La dimensión de competencia percibida, igualmente favorable, refuerza la idea de que los estudiantes no solo disfrutaron la actividad, sino que también se sintieron capaces de enfrentarla con éxito, lo que constituye un elemento central en la aceptación y sostenibilidad de estas tecnologías en el aula (Schmidt & Stumpe, 2025).

Si bien los trabajos de (Osadchy et al., 2021) ya habían resaltado la importancia de la motivación en experiencias con tecnologías emergentes en STEM, y Abrahamson y Abdu (2021) enfatizaron el rol de la interacción corporal en la construcción de aprendizajes

significativos, el presente estudio aporta evidencia concreta al vincular estas percepciones con instrumentos validados como SUS e IMI. Esta contribución permite no solo describir la experiencia, sino también establecer parámetros comparables con otros estudios que utilicen los mismos instrumentos.

De esta forma, la combinación de usabilidad y motivación se presenta como un eje fundamental para comprender la viabilidad de la adopción tecnológica en la enseñanza de la física. Los resultados aquí obtenidos muestran que la aceptación por parte de los estudiantes va más allá de la novedad tecnológica, pues se fundamenta en la percepción de utilidad, facilidad y disfrute que genera la interacción con el sistema. No obstante, se requieren más investigaciones que contrasten diferentes poblaciones y contextos, así como comparaciones directas con otros enfoques de enseñanza apoyados en realidad virtual o tecnologías de interacción natural (Faresta et al., 2024).

Implicaciones educativas y tecnológicas

Los hallazgos de este estudio sugieren que la integración de tecnologías inmersivas ofrece un recurso pedagógico capaz de fortalecer la comprensión de conceptos fundamentales en física mediante la manipulación interactiva de diagramas de cuerpo libre (Gabriels et al., 2022). Desde una perspectiva educativa, esta experiencia evidencia el potencial de las tecnologías de interacción natural para promover aprendizajes más activos y significativos, lo que puede contribuir a superar las dificultades recurrentes en la enseñanza tradicional de la mecánica (Alam & Mohanty, 2023; Mystakidis et al., 2021).

En el plano tecnológico, la propuesta demuestra la viabilidad de diseñar entornos accesibles que combinan bajo costo y alto impacto didáctico, lo que abre la posibilidad de extender su aplicación a otros temas de la física o a diferentes disciplinas STEM (Prayogi & Vewawati, 2024). Futuras investigaciones podrán aprovechar estas bases para comparar la efectividad del enfoque con metodologías convencionales y explorar su integración en programas curriculares más amplios.

Limitaciones del estudio

Aunque los resultados obtenidos permiten vislumbrar el potencial del uso de tecnologías de interacción natural en la enseñanza de diagramas de cuerpo libre, el presente estudio presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los hallazgos. En primer lugar,



el tamaño de la muestra fue reducido, ya que participaron únicamente 25 estudiantes de un curso introductorio a ingeniería. Si bien esto permitió un análisis exploratorio detallado, restringe la posibilidad de generalizar los resultados a poblaciones más amplias o a diferentes contextos educativos. La literatura sobre investigación educativa en entornos inmersivos ha señalado de forma reiterada que el tamaño muestral limitado es una de las principales restricciones en estudios de carácter inicial, lo cual plantea la necesidad de replicaciones posteriores con cohortes mayores.

El estudio se desarrolló en un único contexto institucional, lo que condiciona los hallazgos a las características específicas de los estudiantes de dicho entorno académico. La validez externa podría fortalecerse mediante la inclusión de participantes de diferentes niveles educativos o instituciones, así como con diseños multicéntricos que contemplen la diversidad de experiencias de enseñanza en física. Además, la investigación careció de un seguimiento longitudinal que permita determinar el grado de retención de los aprendizajes alcanzados. Si bien los resultados posttest reflejaron mejoras significativas en la comprensión conceptual, no se cuenta con datos que confirmen si dichos aprendizajes se mantienen en el tiempo o si son transferibles a situaciones más complejas. Estudios previos en entornos inmersivos han subrayado la importancia de evaluar tanto los efectos inmediatos como la persistencia de los aprendizajes, lo que sugiere una línea de trabajo a desarrollar en investigaciones futuras (Makransky & Petersen, 2021).

Conclusiones

Los resultados de este estudio muestran que el uso de Leap Motion integrado en Unity favorece la comprensión de los diagramas de cuerpo libre, al ofrecer a los estudiantes una experiencia interactiva que combina visualización dinámica y manipulación directa de fuerzas. Además, las percepciones recogidas mediante la escala SUS y el IMI reflejan niveles positivos de usabilidad y motivación intrínseca, lo que refuerza la viabilidad de incorporar tecnologías de interacción natural en la enseñanza de la física en contextos STEM.

Si bien el trabajo se realizó con una muestra reducida y en un único contexto, lo que limita la generalización de los hallazgos, sienta una base para futuras investigaciones orientadas a validar estos resultados con poblaciones más amplias, evaluar la retención de aprendizajes en el tiempo y comparar su efectividad frente a metodologías tradicionales. La propuesta abre



una línea prometedora para el diseño de recursos educativos inmersivos aplicables a otros contenidos disciplinares y niveles formativos.

Referencias bibliográficas

- Abrahamson, D., & Abdu, R. (2021). Towards an ecological-dynamics design framework for embodied-interaction conceptual learning: The case of dynamic mathematics environments. *Educational Technology Research and Development*, 69(4), 1889-1923. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09805-1>
- Alam, A., & Mohanty, A. (2023). Educational technology: Exploring the convergence of technology and pedagogy through mobility, interactivity, AI, and learning tools. *Cogent Engineering*. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/23311916.2023.2283282>
- Arroba, C., Becerra, E., Espinoza, J., & Buele, J. (2023). Innovating Chemistry Education: Integrating Cultural Knowledge through a Practical Guide and Augmented Reality. En R. Valencia-García, M. Bucaram-Leverone, J. Del Cioppo-Morstadt, N. Vera-Lucio, & P. H. Centanaro-Quiroz (Eds.), *Technologies and Innovation* (pp. 265-276). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-45682-4_19
- Bagher, M. M., Sajjadi, P., Wallgrün, J. O., La Femina, P. C., & Klippel, A. (2021). Move The Object or Move The User: The Role of Interaction Techniques on Embodied Learning in VR. *Frontiers in Virtual Reality*, 2. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.695312>
- Bhiri, N. M., Ameer, S., Jegham, I., Alouani, I., & Ben Khalifa, A. (2025). 2MLMD: Multi-modal Leap Motion Dataset for Home Automation Hand Gesture Recognition Systems. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 50(10), 7511-7535. <https://doi.org/10.1007/s13369-024-09396-6>
- Chiu, W.-K. (2021). Pedagogy of Emerging Technologies in Chemical Education during the Era of Digitalization and Artificial Intelligence: A Systematic Review. *Education Sciences*, 11(11), 709. <https://doi.org/10.3390/educsci11110709>
- Fang, K., & Wang, J. (2024). Interactive Design With Gesture and Voice Recognition in Virtual Teaching Environments. *IEEE Access*, 12, 4213-4224. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3348846>
- Faresta, R. A., Nicholas, T. Z. S. B., Chi, Y., Sinambela, I. A. N., & Mopolui, A. Z. (2024). Utilization of Technology in Physics Education: A Literature Review and Implications for



the Future Physics Learning. *Lensa: Jurnal Kependidikan Fisika*, 12(1), 1-27.
<https://doi.org/10.33394/j-lkf.v12i1.11676>

Gabriels, S., Muna, N., & le Roux, K. (2022). The Affordances of Visual Modes in Pedagogy on the Physics of Motion in Physiotherapy Education. En L. Shapiro & P. M. Rea (Eds.), *Biomedical Visualisation: Volume 12 – The Importance of Context in Image-Making* (pp. 87-109). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10889-1_4

Georgiou, Y., Tsivitanidou, O., & Ioannou, A. (2021). Learning experience design with immersive virtual reality in physics education. *Educational Technology Research and Development*, 69(6), 3051-3080. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-10055-y>

Kao, D., & Harrell, D. F. (2018). The Effects of Badges and Avatar Identification on Play and Making in Educational Games. *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1-19. <https://doi.org/10.1145/3173574.317417>

Liu, Y., & Liu, Y. (2025). Advancing STEM Education for Sustainability: The Impact of Graphical Knowledge Visualization and User Experience on Continuance Intention in Mixed-Reality Environments. *Sustainability*, 17(9), 3869. <https://doi.org/10.3390/su17093869>

Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): A Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality. *Educational Psychology Review*, 33(3), 937-958. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>

Mystakidis, S., Berki, E., & Valtanen, J.-P. (2021). Deep and Meaningful E-Learning with Social Virtual Reality Environments in Higher Education: A Systematic Literature Review. *Applied Sciences*, 11(5), 2412. <https://doi.org/10.3390/app11052412>

Niyomufasha, T., Ntivuguruzwa, C., & Mugabo, L. R. (2024). The engineering students' use of multiple representations in mechanics problems solving at a selected public university in Rwanda. *Cogent Education*. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/2331186X.2024.2372941>

Osadchyi, V. V., Valko, N. V., & Kuzmich, L. V. (2021). Using augmented reality technologies for STEM education organization. *Journal of Physics: Conference Series*, 1840(1), 012027. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1840/1/012027>



- Pranata, O. D., & Noperma, N. (2023). Critical Thinking Skills in Rotational Dynamics: Learning Physics With and Without Free-body Diagrams. *Tarbawi : Jurnal Ilmu Pendidikan*, 19(2), 153-164. <https://doi.org/10.32939/tarbawi.v19i2.4215>
- Pratiwi, I. K., Kusairi, S., & Sunaryono. (2021). Analyzing students' skill in drawing a free-body diagram. *AIP Conference Proceedings*, 2330(1). <https://doi.org/10.1063/5.0043440>
- Prayogi, S., & Verawati, N. N. S. P. (2024). Physics Learning Technology for Sustainable Development Goals (SDGs): A Literature Study. *International Journal of Ethnoscience and Technology in Education*, 1(2), 155-191. <https://doi.org/10.33394/ijete.v1i2.12316>
- Schmidt, R., & Stumpe, B. (2025). Systematic review of mobile augmented reality applications in geography education. *Review of Education*, 13(1). <https://doi.org/10.1002/rev3.70042>
- Shrestha, S., Shan, Y., Emerson, R., & Hosseini, Z. (2025). Developing and Usability Testing of an Augmented Reality Tool for Online Engineering Education. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 18, 13-24. <https://doi.org/10.1109/TLT.2024.3520413>
- Tang, K.-S. (2023). *The characteristics of diagrams in scientific explanations: Multimodal integration of written and visual modes of representation in junior high school textbooks*. 107(3), 741-772. <https://doi.org/10.1002/sce.21787>
- Taylor, H. A., Burte, H., & Renshaw, K. T. (2023). Connecting spatial thinking to STEM learning through visualizations. *Nature Reviews Psychology*, 2(10), 637-653. <https://doi.org/10.1038/s44159-023-00224-6>
- Utami, N. S., & Nurlaela, A. (2021). The influence of STEM (science, technology, engineering, and mathematics) learning approach on students' learning outcomes on newton's law concept. *Journal of Physics: Conference Series*, 1836(1), 012066. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1836/1/012066>
- Varela-Aldás, J., Buele, J., Jadan-Guerrero, J., & Andaluz, V. H. (2020). Teaching STEM Competencies Through an Educational Mobile Robot. En P. Zaphiris & A. Ioannou (Eds.), *Learning and Collaboration Technologies. Human and Technology Ecosystems* (pp. 560-573). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50506-6_38
- Vázquez-Sánchez, A., & Delgado, F. (2025). A competency assessment model for free-body diagrams construction in mechanical engineering students: A case study. *European Journal*

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03043797.2025.2526831>

Villada Castillo, J. F., Bohorquez Santiago, L., & Martínez García, S. (2025). Optimization of Physics Learning Through Immersive Virtual Reality: A Study on the Efficacy of Serious Games. *Applied Sciences*, 15(6), 3405. <https://doi.org/10.3390/app15063405>

Vlachogianni, P., & Tselios, N. (2022). Perceived usability evaluation of educational technology using the System Usability Scale (SUS): A systematic review. *Journal of Research on Technology in Education*.

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15391523.2020.1867938>

Ziatdinov, R., & Valles, J. R. (2022). Synthesis of Modeling, Visualization, and Programming in GeoGebra as an Effective Approach for Teaching and Learning STEM Topics. *Mathematics*, 10(3), 398. <https://doi.org/10.3390/math10030398>



Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

A todos los participantes que fueron parte de este estudio.

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.