



Aprendizaje conceptual de las leyes de Newton mediante secuencias didácticas con simulaciones en realidad aumentada

Conceptual learning of Newton's laws through didactic sequences with augmented reality simulations

  Francisco Aguilar Acevedo (F.A.A); Universidad Anáhuac Puebla (México)

  Jesús Alberto Flores Cruz (J.A.F.C); Instituto Politécnico Nacional (México)

  Daniel Pacheco Bautista (D.P.B); Universidad del Istmo (México)

  Efraín Dueñas Reyes (E.D.R); Universidad del Istmo (México)

RESUMEN

La redefinición de experiencias de aprendizaje a través de la tecnología de realidad aumentada requiere de una visión amplia del proceso, que particularmente en el caso de la enseñanza de las ciencias, permita vincular las posibilidades de visualizar fenómenos de difícil observación o reproducción con actividades que respondan a objetivos didácticos específicos. Así, en este artículo se presentan los pormenores de una intervención apoyada con simulaciones en realidad aumentada orientadas a la enseñanza de las leyes de Newton, en el marco de dos secuencias didácticas propuestas. Bajo un esquema cuasi-experimental y un diseño pre-test y post-test, se hizo uso de un cuestionario sobre el concepto de fuerza para valorar el aprendizaje conceptual. Se muestran los resultados de la estimación del índice de dificultad de los ítems y la ganancia relativa de aprendizaje, obteniendo una diferencia favorable para el grupo experimental, particularmente en la equidad en el aprendizaje. Finalmente, se presentan algunos hallazgos notables sobre el uso de las secuencias didácticas propuestas.

ABSTRACT

Redefinition of learning experiences through augmented reality technology requires a broad vision of the process, which in the case of science teaching allows linking the possibilities of visualizing phenomena difficult to observe or reproduce with activities that respond to specific didactic objectives. Thus, this article presents the details of a supported intervention with augmented reality simulations for teaching Newton's laws, within the framework of two proposed didactic sequences. Under a quasi-experimental scheme and a pre-test and post-test design, a questionnaire on the concept of force was used to assess conceptual learning. Results of the item difficulty index and the relative learning gain are shown, obtaining a favourable difference for the experimental group, particularly in equity in learning. Finally, notable some findings regarding the use of proposed didactic sequences are presented.

PALABRAS CLAVE - KEYWORDS

Aprendizaje Conceptual, Secuencias Didácticas, Simulaciones en Realidad Aumentada, Leyes de Newton
Conceptual Learning, Didactic Sequences, Augmented Reality Simulations, Newton's Laws



1. INTRODUCCIÓN

La adopción de las tecnologías virtuales en la educación ha tenido un crecimiento exponencial durante los últimos años, especialmente en la enseñanza y el aprendizaje a nivel superior (Kamińska et al., 2023), siendo las aplicaciones para dispositivos móviles las de mayor uso (Al-Ansi et al., 2023), y las clases de física, biología (Faria y Miranda, 2024; Permana et al., 2024) y el aprendizaje de idiomas extranjeros los campos más recurrentes de aplicación (Koumpouros, 2024). En este sentido, para Dolenc et al. (2024) la realidad aumentada representa un puente entre el aprendizaje usando medios convencionales y digitales, al ofrecer experiencias de aprendizaje interactivas que posibilitan la optimización de los procesos educativos (Criollo-C et al., 2024).

Así, en la actualidad las tecnologías como la realidad aumentada y virtual permiten recrear escenarios de la vida real, emplear entornos de aprendizaje inmersivos y brindar a los estudiantes experiencias prácticas que buscan cerrar la brecha entre la teoría y la práctica, al enriquecer los materiales didácticos hasta hace algunos años estáticos (Al-Ansi et al., 2023; Novita, 2023). En este sentido, la realidad aumentada se presenta como un medio viable para abordar los desafíos asociados con la educación científica, como lo son las dificultades para comprender conceptos abstractos y complejos, y la falta de equipos de laboratorio (Nikou, 2024). Sin embargo, es de señalar que la misma tecnología pueden llevar a los participantes a prestar mayor atención a los detalles secundarios que a la propia construcción del conocimiento (Vidak et al., 2024), lo cual, si no se maneja adecuadamente en los escenarios escolares, podría obstaculizar el aprendizaje.

No obstante, el proceso de integración de la realidad aumentada en el ámbito de la educación es complejo y abarca numerosas facetas, que van desde su alineación con los objetivos educacionales hasta la disposición de recursos tecnológicos de las instituciones (Zamahsari et al., 2024). Desde esta perspectiva, para AlGerafi et al. (2023) es necesario priorizar el diseño pedagógico, la capacitación de los docentes y el acceso equitativo a la tecnología. Mientras para Lampropoulos et al. (2022), su integración no solo debe seguir estrategias y enfoques educativos adecuados, sino también tener en cuenta las características únicas de los participantes. En el mismo sentido, para Garzón et al. (2020), la contribución de la realidad aumentada en la mejora del aprendizaje de los estudiantes, dependen de diversos factores como lo son las características pedagógicas de la intervención, el método y entorno de aprendizaje, la duración de la intervención, entre otros. No obstante, como señalan Kalemkuş y Kalemkuş (2022), para el caso de cursos de ciencias, la mejora del rendimiento de los estudiantes suele ser marcada como moderada o nula hasta este momento.

Así, el objetivo de este estudio se centra en valorar el aprendizaje conceptual que genera una intervención educativa apoyada de un simulador en realidad aumentada desarrollado por Aguilar et al. (2022), en el marco de dos secuencias didácticas propuestas, con la intención de que dicha intervención se encuentre regulada y controlada mediante una planeación detallada, una para analizar el movimiento de un cuerpo bajo los preceptos de la primera ley de Newton y otra para aplicar el concepto de fricción estática a un objeto en reposo sobre un plano inclinado. Se presenta el método empleado para la intervención, y los resultados obtenidos de la aplicación de un cuestionario sobre el concepto de fuerza usado para estimar el aprendizaje conceptual a través del índice de dificultad de los ítems y la ganancia relativa de aprendizaje.

Finalmente se presentan hallazgos relevantes sobre la intervención al usar las secuencias didácticas propuestas.

2. MÉTODO

El estudio se llevó a cabo bajo un diseño cuasi-experimental, utilizando una población pequeña y finita de estudiantes de primer ciclo de ingeniería. La variable independiente simulador en realidad aumentada, se dio en dos grados/categorías (presencia/ausencia). La variable dependiente, el aprendizaje conceptual, se midió mediante un diseño pre-test y post-test, utilizando un subconjunto de 19 preguntas del Cuestionario sobre el Concepto de Fuerza (FCI, Force Concept Inventory) relacionadas con las leyes de Newton, y basado en el trabajo de Aguilar et al. (2023). El instrumento que es referenciado en este texto como test FCI-19, categoriza el aprendizaje de conceptual de las leyes de Newton en tres subconjuntos de 7, 7 y 5 preguntas.

El pre-test fue administrado antes de la intervención para evaluar el nivel inicial de comprensión de los estudiantes sobre las leyes de Newton, mientras que el post-test se aplicó después de la intervención para medir el aprendizaje alcanzado. La aplicación del instrumento permitió comparar el cambio en el desempeño de los estudiantes en función de la presencia o ausencia del simulador de realidad aumentada.

En el caso de la muestra de participantes, esta consistió en 30 estudiantes de las carreras de Ingeniería Química y en Computación en una universidad pública en México, agrupados en dos grupos sin asignación aleatoria, lo que represento una muestra por conveniencia de 14 (7 mujeres y 7 hombres) estudiantes de Ingeniería Química para el grupo de control y 16 (3 mujeres y 13 hombres) estudiantes de Ingeniería en Computación para el grupo experimental. Los estudiantes del grupo de control se encontraban inscritos en la asignatura de Mecánica Clásica, mientras los del grupo experimental cursaban la asignatura de Física para Ingeniería. En ambas asignaturas se contemplan una unidad denominada "Dinámica", bajo la cual se trata el tema de leyes de Newton. Es de mencionar que, los 30 estudiantes que conformaron estos grupos representaron el 64% (30/47) de la población de estudiantes "activos" de primer ciclo universitario que cursaban una asignatura introductoria a la Física, y cuyo número corresponde a una muestra estadísticamente significativa (de 29 participantes) para un nivel de confianza del 90% ($z = 1.65$) y un margen de error del 10%. Cabe señalar que los grupos citados eran equiparables en tamaño.

Respecto a los test FCI-19, estos fueron aplicados al inicio y fin de la presentación del tema "Aplicaciones de la Leyes de Newton", existente en el temario de la asignatura de ambos grupos. El cuestionario fue aplicado de forma individual a través de cuestionarios impresos, con un tiempo de duración de 30 minutos. En el caso del grupo experimental el uso del simulador en realidad aumentada se realizó a través de dos secuencias didácticas propuestas, una para el análisis del movimiento de un cuerpo bajo los preceptos de la primera ley de Newton y otra para la aplicación del concepto de fricción estática a un objeto en reposo sobre un plano inclinado. En las Tablas 1 y 2 se presenta la descripción de las secuencias didácticas mencionadas, etiquetas como SD1 y SD2.

Tabla 1

Secuencia didáctica SD1

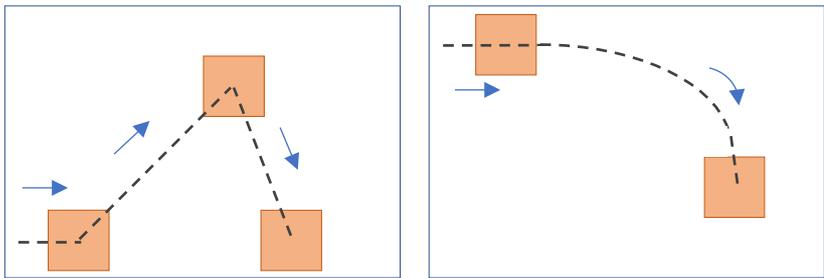
Generalidades		
Curso:	Física para Ingeniería	
Unidad / Tema:	Dinámica / Aplicaciones de las leyes de Newton	
Objetivo de aprendizaje:	Analizar el movimiento de un cuerpo bajo los preceptos de la primera ley de Newton.	
Sustentación teórica:	<p>Primera ley de Newton</p> <p>Experimentos demuestran que, <i>si no actúa ninguna fuerza neta sobre un cuerpo</i>, este permanecerá en reposo o se moverá con velocidad constante en línea recta. Una vez que un cuerpo está en movimiento, no se requiere una fuerza neta para mantenerlo en movimiento. Esta observación es conocida como la primera ley del movimiento de Newton, y se puede enunciar como: <i>Un cuerpo sobre el que no actúa una fuerza neta se mueve con velocidad constante (que puede ser cero) y aceleración cero</i> (Young y Freedman, 2018).</p> <p>La tendencia de un cuerpo a seguir moviéndose una vez iniciado su movimiento es resultado de una propiedad llamada inercia. Cabe destacar que, bajo estos supuestos, el cuerpo puede representarse adecuadamente como una partícula puntual. Si el cuerpo tiene un tamaño finito, también se debe considerar en qué parte del cuerpo se aplican las fuerzas.</p>	
Recursos:	Simulador en realidad aumentada móvil <i>Newton RA</i> instalado en el dispositivo móvil de los participantes y marcador para simulación del movimiento del objeto en un plano horizontal.	
Secuencia didáctica		
Inicio	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rescatar conocimientos previos de los estudiantes sobre el tema de Superposición de fuerzas, mediante una discusión guiada. ➤ Presentar la información preliminar acerca del tema de la <i>Primera ley de Newton</i> (sustentación teórica). 	30 minutos
Desarrollo	<p><i>Estrategia de aprendizaje basado en simulación</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Formar equipos de estudiantes (de acuerdo a la disposición de dispositivos móviles y el tamaño del grupo). 2. Los estudiantes harán uso de la aplicación móvil la cual consiste en un simulador basado en tecnología de RA denominada <i>Newton RA</i> y que fue desarrollada por los autores específicamente para esta intervención, así como del marcador correspondiente, para "activar" la simulación del movimiento del objeto en un plano horizontal, modificando el parámetro relacionado con los materiales para el objeto/plano seleccionando "sin fricción", y estableciendo un valor de masa y fuerza. Permitir a los estudiantes interactuar con el objeto virtual, al "golpear" las paredes de cubo, remarcando el hecho que no existe fricción entre las superficies, por lo que tras "golpear" el objeto con una fuerza impulsiva, este presentara un movimiento a velocidad constante, que ejemplifica la primera ley de Newton. Es de señalar, que la colisión de objeto con la pared corresponde a la de un choque inelástico, por lo que el objeto no rebota, y se detendrá al hacer contacto con la pared. 3. A continuación, se le presentará a los estudiantes dos esquemas de movimiento (a manera de desafío), las cuales deberán de reproducir mediante el simulador, modificando parámetros y "golpeando" el objeto virtual. 	45 minutos
		
	Esquemas de movimiento para un objeto sobre el que actúa una fuerza neta igual a cero.	
	<p>Los estudiantes demostraran que, una vez que el objeto está en moviendo, una nueva fuerza impulsiva cambiará su rapidez, su dirección o ambas, dependiendo de la dirección de la fuerza. Al ser cero la fuerza neta (no hay fricción) que actúa sobre el objeto un instante después de la aplicación de la fuerza, el objeto mostrara una velocidad constante en su movimiento.</p>	
Cierre	Examinar los resultados obtenidos por cada grupo de estudiantes, indagando las distintas formas mediante las cuales pudieron realizar los movimientos "desafío" de la etapa de desarrollo, retroalimentando la experiencia desde la sustentación teórica de la primera ley de Newton.	15 minutos

Tabla 2

Secuencia didáctica SD2

Generalidades	
Curso:	Física para Ingeniería
Unidad / Tema:	Dinámica / Aplicaciones de las leyes de Newton
Objetivo de aprendizaje:	Aplicar el concepto de fricción estática a un objeto en reposo sobre un plano inclinado
Sustentación teórica:	<p>Determinación experimental de μ_s</p> <p>Un método simple para medir coeficientes de fricción, es colocar un bloque sobre una superficie rugosa inclinada en relación con la horizontal, aumentando el ángulo de inclinación hasta que el bloque comienza a moverse, obteniendo de esta forma el ángulo crítico al que comienza a ocurrir el desplazamiento, y relacionamiento este con un modelo de partícula en equilibrio representado a través del diagrama de cuerpo libre mostrado a continuación (Serway y Jewett, 2018).</p>
<p>Diagrama de cuerpo libre para objeto sobre un plano inclinado.</p> <p>Las fuerzas externas que se ejercen sobre un bloque que se encuentra sobre un plano inclinado “rugoso” son la fuerza gravitacional, la fuerza normal y la fuerza de fricción. De este modo, escribiendo las leyes de Newton para el sistema estático en forma de componentes, el ángulo crítico se puede definir como $\theta = \arctan \mu_s$.</p>	
Recursos:	Simulador en realidad aumentada móvil <i>Newton RA</i> instalado en el dispositivo móvil de los participantes y marcador impreso para simulación del movimiento del objeto en un plano inclinado.
Secuencia didáctica	
Inicio	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rescatar conocimientos previos de los estudiantes sobre el tema de <i>Leyes de Newton</i>, mediante una discusión guiada. 30 minutos ➤ Presentar la información acerca del tema de <i>Fuerzas de fricción</i> (sustentación teórica), haciendo hincapié en la determinación experimental del coeficiente de fricción estática.
Desarrollo	<p><i>Estrategia de aprendizaje basado en simulación</i> 45 minutos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Formar equipos de estudiantes (de acuerdo a la disposición de dispositivos móviles y el tamaño del grupo). 2. Utilizando la ecuación $\theta = \arctan \mu_s$, los estudiantes calcularán el ángulo crítico suponiendo un coeficiente de fricción estático μ_s de 0.58, el cual puede ser atribuido al contacto entre superficies de madera (Wilson et al., 2007). 3. Los estudiantes harán uso de la aplicación móvil y el marcador correspondiente, para “activar” la simulación del movimiento del objeto en un plano inclinado, modificando el parámetro relacionado con los materiales para el objeto/plano seleccionando la opción “madera-madera”, y utilizando los controles de inclinación del plano para identificar el intervalo del ángulo de inclinación donde se genera el movimiento del objeto. Una vez identificado el intervalo ángulo, los estudiantes obtendrán el valor medio, y despejando de la ecuación $\theta = \arctan \mu_s$ calcularán el coeficiente de fricción estática. 4. Haciendo uso de un objeto de madera de al menos una superficie plana (un cubo de preferencia), los estudiantes reproducirán el experimento virtualizado a través de aplicación, haciendo uso de una mesa o butaca de madera, y estimando el ángulo de inclinación mediante una aplicación como <i>Simple Inclinator</i>, <i>Angle Inclination</i> o <i>Angle Meter</i>, disponibles en Google Play. Una vez medido el ángulo, los estudiantes calcularán el coeficiente de fricción estática, despejando de la ecuación $\theta = \arctan \mu_s$.
Cierre	<p><i>Cuestionario</i> 15 minutos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Cuál fue el ángulo crítico y el coeficiente de fricción estática para cada una de las situaciones? 2. Si existieran diferencias entre los valores, ¿entre qué resultados se obtuvieron las mayores diferencias, y por qué cree que existen?

3. RESULTADOS

En la Tabla 3 y la Figura 1 se presentan los resultados globales obtenidos en la aplicación del inventario FCI-19, los cuales evidencian un contraste significativo entre el grupo experimental y el grupo control. El análisis muestra una media de aciertos superior para el grupo experimental, lo que presupone una mejor comprensión de los conceptos evaluados. En este sentido, una prueba t ($t=0.85$) sobre el número de aciertos en el pos-test para ambos grupos, permitió verificar que las medias de los grupos son significativamente diferentes, siendo la del grupo experimental significativamente mayor. Este hallazgo sugiere que las estrategias didácticas implementadas para el grupo experimental tuvieron un impacto positivo en su desempeño.

Un aspecto relevante es la menor dispersión de los datos en el grupo experimental, lo que indica que hubo menos variabilidad entre los estudiantes en términos de su rendimiento. Este resultado sugiere una mayor equidad en el aprendizaje dentro de este grupo, ya que los estudiantes tuvieron un desempeño más homogéneo. En contraposición, el grupo control mostró una mayor dispersión, lo que refleja una mayor heterogeneidad en sus resultados.

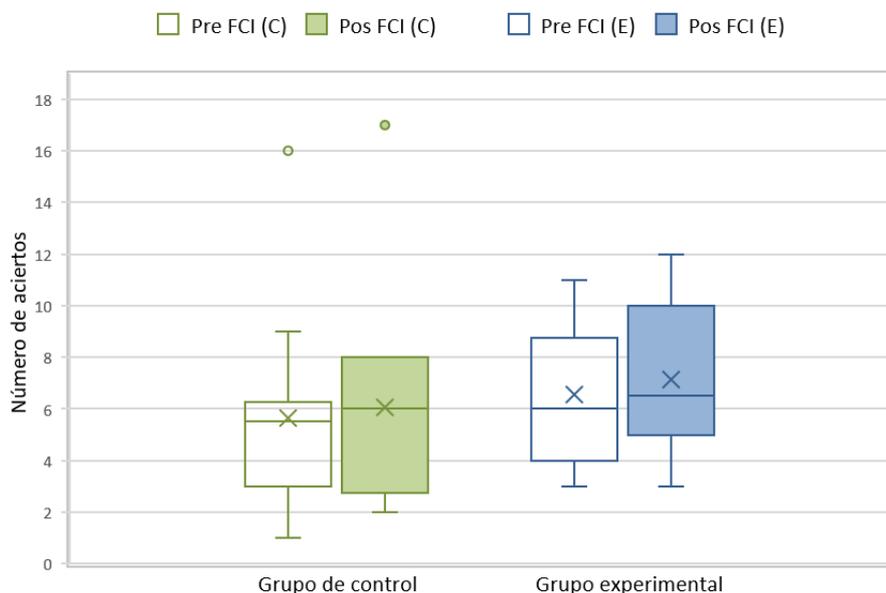
Tabla 3

Media de aciertos, varianza y desviaciones estándares para el test FCI-19

Grupo	Tipo de test	Media de Aciertos (MA)	Varianza	DE
Experimental	Pre-test	6.563	6.663	2.581
	Pos-test	7.125	8.250	2.872
Control	Pre-test	5.643	13.324	3.650
	Pos-test	6.071	15.148	3.892

Figura 1

Número de aciertos pre-FCI y pos-FCI de los grupos de control y experimental



Cabe destacar el resultado atípico identificado en el grupo control, visible en la Figura 1. Aunque este dato no sigue la tendencia general del grupo, es importante mencionarlo porque podría estar relacionado con factores externos que no fueron controlados en el experimento. No obstante, a pesar de este dato atípico, la tendencia general en ambos grupos sugiere una mejora en el aprendizaje, aunque dicha mejora es más pronunciada y consistente en el grupo experimental. Esto refuerza la hipótesis de que la intervención didáctica utilizada en este grupo contribuyó de manera más eficaz al logro de los objetivos de aprendizaje.

En la Tabla 4 se presenta una comparativa del índice de dificultad por ítem, definido como la relación entre el número de aciertos y el total de estudiantes evaluados (Hurtado, 2018). Este índice es fundamental para evaluar el nivel de dificultad de cada ítem y clasificarlo de acuerdo con la escala propuesta por Ortiz et al. (2015). Según esta clasificación, los ítems pueden ser considerados Difíciles (índice menor de 0.40), Medianamente Difíciles (entre 0.40 y 0.50), de dificultad Media (entre 0.51 y 0.80), Medianamente Fáciles (entre 0.81 y 0.90), y Fáciles (entre 0.91 y 1.00).

Es importante destacar que, a menor índice, mayor será la dificultad del ítem, lo que refleja un menor número de estudiantes que respondieron correctamente. Este análisis permite no solo identificar los ítems que presentaron mayores dificultades, sino también aquellos que fueron más accesibles para los estudiantes, proporcionando así una visión más detallada del rendimiento por ítem. Esta información es valiosa para ajustar futuras intervenciones pedagógicas y diseñar estrategias que atiendan las áreas donde los estudiantes mostraron mayores desafíos.

Tabla 4

Índice de dificultad por ítem

LN	Pregunta en el FCI-19	Grupo de control						Grupo experimental					
		Pre-test		Pos-test		Diferencia	Pre-test		Pos-test		Diferencia		
	4	0.69	M	0.63	M	-0.06	0.75	M	0.81	↓	MF	+0.06	
	5	0.44	MD	0.56	↓	M	+0.13	0.50	MD	0.63	↓	M	+0.13
	6	0.38	D	0.38	D	0.00	0.50	MD	0.63	↓	M	+0.13	
1era.	8	0.19	D	0.06	D	-0.13	0.19	D	0.31	D	D	+0.12	
	9	0.44	MD	0.38	↑	D	-0.06	0.81	MF	0.81	MF	0.00	
	12	0.06	D	0.13	D	+0.06	0.31	D	0.25	D	D	-0.06	
	14	0.06	D	0.19	D	+0.13	0.44	MD	0.50	MD	MD	+0.06	
	1	0.50	MD	0.38	↑	D	-0.13	0.56	M	0.44	↑	MD	-0.12
	7	0.25	D	0.19	D	-0.06	0.38	D	0.25	D	D	-0.13	
	13	0.13	D	0.19	D	+0.06	0.25	D	0.13	D	D	-0.12	
2da.	15	0.38	D	0.56	↓	M	+0.19	0.50	MD	0.69	↓	M	+0.19
	16	0.06	D	0.19	D	+0.13	0.00	D	0.13	D	D	+0.13	
	17	0.00	D	0.06	D	+0.06	0.06	D	0.06	D	D	0.00	
	18	0.19	D	0.06	D	-0.13	0.31	D	0.31	D	D	0.00	

LN	Pregunta en el FCI-19	Grupo de control					Grupo experimental				
		Pre-test		Pos-test		Diferencia	Pre-test		Pos-test		Diferencia
	2	0.19	D	0.13	D	-0.06	0.13	D	0.25	D	+0.12
	3	0.13	D	0.19	D	+0.06	0.19	D	0.06	D	-0.13
3era.	10	0.19	D	0.25	D	+0.06	0.19	D	0.31	D	+0.13
	11	0.50	MD	0.50	MD	0.00	0.38	D	0.38	D	0.00
	19	0.25	D	0.31	D	+0.06	0.13	D	0.19	D	+0.06

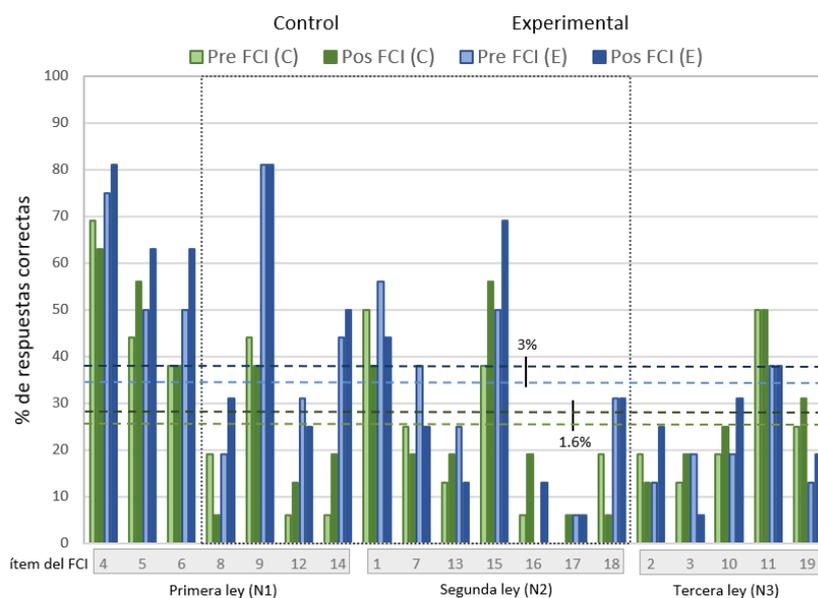
Nota. ↑ incremento, ↓ disminución de la valoración del índice de dificultad

En la Figura 2 se ilustra la dificultad por ítem mediante el porcentaje de respuestas correctas, permitiendo observar el desempeño de los estudiantes en los pre-test y pos-test. Los resultados muestran que en el grupo control el porcentaje promedio de respuestas correctas fue de 26.5% en el pre-test y de 28.1% en el pos-test, lo que representa una mejora del 1.6%. En el grupo experimental, los promedios fueron de 34.6% en el pre-test y de 37.6% en el pos-test, evidenciando una mejora del 3.0%. Es de observar que, ambos grupos presentaron su más bajo desempeño para el conjunto de preguntas relacionadas con la tercera ley de Newton.

Estas diferencias, aunque pequeñas, reflejan una mejora en ambos grupos, siendo más pronunciada en el grupo experimental. Esto sugiere que la intervención aplicada en este grupo tuvo un efecto positivo, incrementando el porcentaje de aciertos en mayor medida en comparación con el grupo control. La información proporcionada por la Figura 2 es crucial para entender cómo varió la dificultad de los ítems antes y después de la intervención, y cómo el grupo experimental mostró un mayor avance en su aprendizaje.

Figura 2

Porcentaje de respuestas correctas por ítem para los grupos de control y experimental

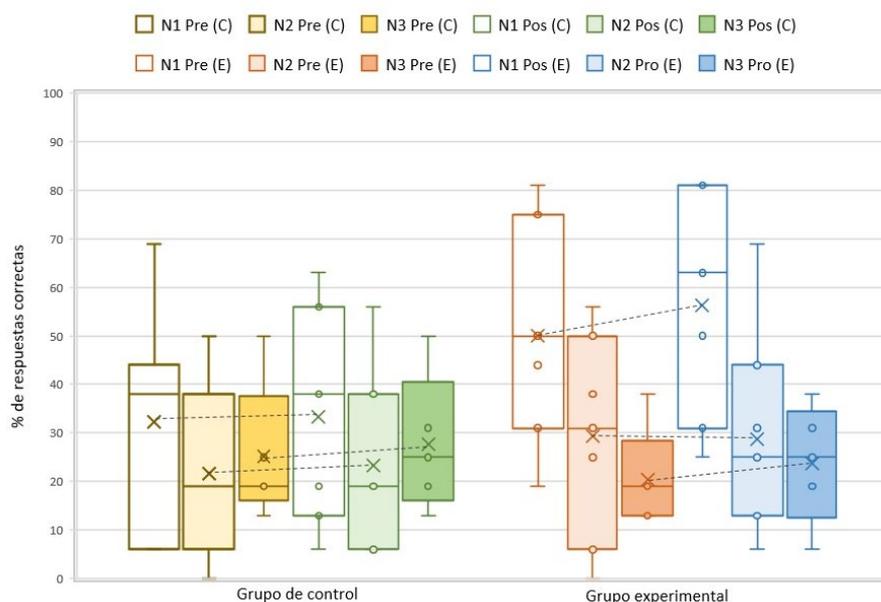


En el mismo sentido, en la Figura 3 se presentan los resultados por conjunto de preguntas relacionadas con la primera, segunda y tercera ley de Newton, y etiquetados como N1, N2 y

N3, respectivamente. Como se observa, para el caso de grupo de control las medias por grupo no presentan cambios significativos. Por otra parte, en el grupo experimental se observan diferencias de desempeño son más notorias para conjunto de preguntas relacionadas con la primera ley de Newton, mientras que se denota una menor dispersión en los resultados para las preguntas de la segunda ley de Newton.

Figura 3

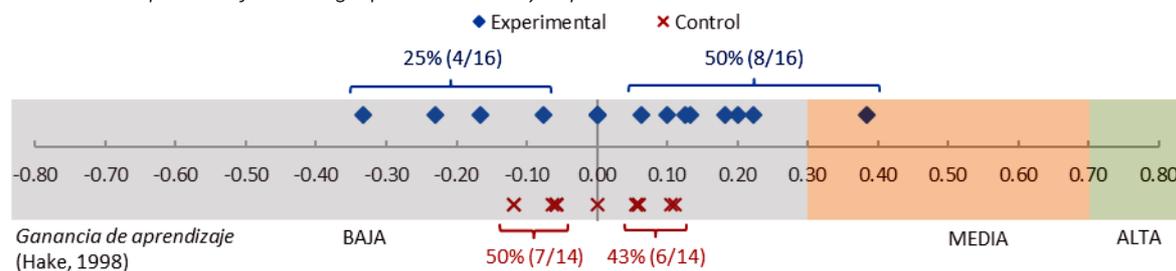
Resultados por conjunto de preguntas para los grupos de control y experimental



En la Figura 4 se presenta gráficamente la ganancia relativa de aprendizaje conceptual, según la metodología propuesta por Hake (1998). Esta medida permite evaluar el incremento en el conocimiento de los estudiantes tras la intervención educativa. Los resultados muestran que el porcentaje de estudiantes con una ganancia positiva es significativamente mayor en el grupo experimental en comparación con el grupo control, lo que indica una mejora más sustancial en el aprendizaje conceptual de los estudiantes que participaron en el grupo experimental. En el mismo sentido, es posible observar que las ganancias individuales en el grupo experimental son, en su mayoría, superiores a las observadas en el grupo control. Esto sugiere que la intervención didáctica aplicada al grupo experimental no solo fue más efectiva para generar mejoras en el aprendizaje, sino que también favoreció una distribución más uniforme de dichas mejoras entre los estudiantes, lo cual es un indicador de un impacto más profundo y equitativo en el proceso de adquisición de conocimientos.

Figura 4

Ganancia de aprendizaje de los grupos de control y experimental



4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Considerando la valoración del índice de dificultad por ítem presentado en la Tabla 4, para el grupo de control el 10% (2/19) de los ítems disminuyeron en dificultad (\downarrow), mientras que para el grupo de experimental lo hicieron el 21% (4/19). Solo el ítem identificado como 1 mostró un incremento (\uparrow) en su dificultad para ambos grupos. En lo que respecta a los cambios en el índice de dificultad, se puede observar que para el grupo control el 37% (7/19) de los ítems presentaron una diferencia negativa en su índice de dificultad, es decir los ítems fueron percibidos como más difíciles, y el 10% (2/19) no mostró cambios, mientras para el grupo experimental el 26% (5/19) tuvieron una diferencia negativa y el 21% (4/19) no presentó cambios. Es de indicar que, para ambos grupos el 53% (10/19) de los ítems presentaron una diferencia positiva, es decir fueron vistos como más fáciles. De la misma forma, la diferencia entre la mejora del porcentaje de respuestas correctas es de solo el 1.4% a favor del grupo experimental.

En el mismo sentido, es de señalar que ambos grupos de estudiantes, presentaron su más bajo desempeño para el conjunto de preguntas relacionadas con la tercera ley de Newton, lo que coincide con otros estudios que señalan las dificultades de los estudiantes para interpretar el principio de acción y reacción (Mongan et al., 2020; Serhane et al., 2023). En contraposición, el conjunto de preguntas de la primera ley Newton presentó la mejor diferencia de desempeño tras la intervención con realidad aumentada, lo que puede atribuirse en parte a las características propias del simulador empleado, lo que podría ser explorado en un estudio más amplio. Por otra parte, si bien los porcentajes de respuestas correctas son bajos, de acuerdo con Artamónova et al. (2017) estos se encuentran dentro del rango asociado a estudiantes universitarios novatos.

Respecto a la ganancia relativa de aprendizaje conceptual, es de indicar que, a excepción de un caso para el grupo experimental, los participantes de ambos grupos mostraron una ganancia de aprendizaje baja, he incluso un déficit en su aprendizaje en algunos casos, déficit que resulto más notorio y disperso para el grupo de control.

Aunado a los resultados obtenidos sobre el aprendizaje conceptual, es posible listar algunas particularidades de la implementación de las secuencias didácticas descritas en las Tablas 1 y 2, mediante las cuales se puso en práctica el uso del simulador en realidad aumentada.

- a) En el desarrollo de la secuencia etiquetada como SD1, se observó que, aunque cada estudiante disponía de su propio marcador para realizar las simulaciones, dentro de los equipos de trabajo, frecuentemente optaron por compartir un solo marcador. Esto facilitó el intercambio de ideas sobre el movimiento del objeto y el efecto de los parámetros de simulación, destacando el componente colaborativo asociado al uso de tecnologías de realidad aumentada (Garzón et al., 2020; Radu y Schneider, 2023). Durante la actividad denominada 'desafío', correspondiente a esta secuencia, fue evidente la disposición de los estudiantes para cumplir con los objetivos de movimiento establecidos, lo que condujo a una participación activa por parte de todos los integrantes. Diversas investigaciones atribuyen este tipo de actitud al uso de estas tecnologías (Gómez-Rios et al., 2023; Cao y Yu, 2023).
- b) En lo que concierne a las respuestas del cuestionario de la actividad de cierre de la secuencia SD2. Respecto a la pregunta 1. *¿Cuál fue el ángulo crítico y el coeficiente de fricción estática para cada una de las situaciones?*, los alumnos coincidieron con los valores teóricos (30.1°, 0.57) y de simulación (32.5°, 0.63) para el ángulo crítico y coeficiente de fricción, con diferencias en la estimación del valor experimental, tal como se muestra en la Tabla 5.

En de indicar que las diferencias ente valor teórico y de simulación corresponden a las características de los controles del interfaz de permiten una variación en la inclinación del plano de $\pm 5^\circ$, por lo que el estudiante en primera instancia deberá inferir que el programa considera un coeficiente de fricción diferente al teórico.

Por otra parte, en cuanto al valor experimental observado, si bien tanto los cubos de madera como las butacas/mesas (usadas como rampa), presentaban superficies de contacto "similares", las diferencias observadas resultan razonables, en particular debido al uso de objetos con superficies irregulares.

Tabla 5

Valores experimentales obtenidos por los estudiantes

Núm. de equipo	Ángulo crítico	Coficiente de fricción
1	16.0°	0.28
2	25.0°	0.46
3	22.0°	0.40
4	26.0°	0.48

En lo que respecta a la pregunta 2. *Si existieran diferencias entre los valores, ¿entre qué resultados se obtuvieron las mayores diferencias, y por qué cree que existen?*, los alumnos coincidieron en señalar que existen diferencias entre valores teóricos, de simulación y experimentales, atribuyeron las diferencias a las variaciones de factores (físicos) no consideradas en la simulación, siendo solo un equipo de estudiantes el que identificó a la fricción entre las superficies como el parámetro central de estas diferencias. En la Tabla 6 se muestra la transcripción de los comentarios de los equipos de estudiantes.

Tabla 6

Transcripción de comentarios de los estudiantes

Núm. de equipo	Comentarios
1	“En el cálculo experimental el resultado depende de la fricción, ya que cada superficie tiene una diferente, mientras que el cálculo en la aplicación es una simulación del cálculo y no toma en cuenta muchas cosas externas para los resultados”
2	“Porque no se puede plasmar las leyes de la física tal cual, dentro de la programación, los datos de ángulos, fuerzas y demás siempre varían y no pueden ser del todo exactos.”
3	“Porque al programar hay muchos parámetros que no se toman en cuenta al desarrollar la aplicación ya que las cifras no se manejan con exactitud.”
4	“Es distinto ya que el motor de física usado para programar la app no logra reproducir con suficiente precisión un escenario fiel a la realidad”

Si bien, estos hechos ponen de manifiesto la contribución del simulador en realidad aumentada para relacionar los conceptos con experiencias del mundo real, también denota la persistencia de ideas alternativas sobre el concepto de fuerza, que, en este caso, no permiten identificar claramente el origen y efecto de las fuerzas de fricción.

En conclusión, si bien, el grupo experimental presenta una diferencia a favor en su aprendizaje conceptual respecto al grupo de control, las diferencias entre los índices de dificultad y la ganancia de aprendizaje relativa no permiten establecer una ventaja clara de la enseñanza apoyada con simulaciones en realidad aumentada sobre una instrucción usando medios convencionales, no obstante, que si se identifica una mayor equidad del aprendizaje conceptual en el grupo experimental. En este sentido, es de señalar la limitante que representa el tamaño de la población bajo estudio, en la generalización de los hallazgos a otros contextos educativos.

En lo que respecta a la intervención, es de destacar el trabajo colaborativo, la actitud activa y el disfrute observado, al momento de realizar las actividades de las secuencias didácticas propuestas para este estudio, enmarcando, por un lado, los beneficios del uso de simuladores en realidad aumentada como estimulante de habilidades no cognitivas, y por otro, el papel de las secuencias didácticas como un proceso estructurado que puede contribuir a reducir el efecto distractor atribuido a la tecnología de realidad aumentada (Vidak et al., 2024). Finalmente, es posible sugerir como trabajos futuros, un estudio más amplio que ratifique los resultados obtenidos, así como la extrapolación de la metodología expuesta a la formulación de secuencias didácticas apoyados de realidad aumentada en otros ámbitos de la ciencia.

5. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, F.A.A. y J.A.F.C.; análisis formal, F.A.A.; investigación, F.A.A. y J.A.F.C.; metodología, F.A.A. y D.P.B.; supervisión, J.A.F.C.; validación, F.A.A. y E.D.R.; visualización, F.A.A. y D.P.B.; redacción—preparación del borrador original, F.A.A. y D.P.B.; redacción—revisión y edición, F.A.A. y E.D.R.

6. 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. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (80), 66–83. <https://doi.org/10.21556/edutec.2022.80.2509>
- Aguilar, F., Flores, J. A., y Pacheco, D. (2023). Enseñanza en línea de las leyes de Newton, utilizando simulaciones PhET. *Innovación Educativa*, 23(92), 112–127. <https://www.ipn.mx/assets/files/innovacion/docs/Innovacion-Educativa-92/Ensenanza-en-linea-de-las-leyes-de-Newton-utilizando-simulaciones-PhET.pdf>
- AlGerafi, M. A. M., Zhou, Y., Oubibi, M., y Wijaya, T. T. (2023). Unlocking the Potential: A Comprehensive Evaluation of Augmented Reality and Virtual Reality in Education. *Electronics*, 12(18), Article 3953. <https://doi.org/10.3390/electronics12183953>
- Al-Ansi, A. M., Jaboob, M., Garad, A., y Al-Ansi, A. (2023). Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. *Social Sciences & Humanities Open*, 8(1), Article 100532. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100532>
- Artamónova, I., Mosquera, J. C., y Mosquera, J. D. (2017). Aplicación de force concept inventory en América Latina para la evaluación de la comprensión de los conceptos básicos de mecánica a nivel universitario. *Revista Educación en Ingeniería*, 12(23), 56–63. <https://doi.org/10.26507/rei.v12n23.729>
- Cao, W. y Yu, Z. (2023). The impact of augmented reality on student attitudes, motivation, and learning achievements—a meta-analysis (2016–2023). *Humanities and Social Sciences Communications*, 10, Article 352. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01852-2>
- Criollo-C, S., González-Rodríguez, M., Guerrero-Arias, A., Urquiza-Aguilar, L. F., y Luján-Mora, S. (2024). A Review of Emerging Technologies and Their Acceptance in Higher Education. *Education Sciences*, 14(1), Article 10. <https://doi.org/10.3390/educsci14010010>
- Dolenc, S., Susman, K., y Pavlin, J. (2024). Usage of Augmented Reality in Physics Education: Erasmus+ KA201 Project ARphymedes. *Journal of Physics: Conference Series*, 2727, Article 012026. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2727/1/012026>
- Faria, A., y Miranda, G. L. (2024). Augmented Reality in Natural Sciences and Biology Teaching: Systematic Literature Review and Meta-Analysis. *Emerging Science Journal*, (4), 1666-1685. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2024-08-04-025>
- Garzón, J., Kinshuk, Baldiris, S., Gutiérrez J., y Pavón, J. (2020). How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review*, 31, Article 100334. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100334>
- Gómez-Rios, M. D., Paredes-Velasco, M., Hernández-Beleño, R. D., y Fuentes-Pinargote, J. A. (2023). Analysis of emotions in the use of augmented reality technologies in education: A systematic review. *Computer Applications in Engineering Education*, 31(1), 216–234. <https://doi.org/10.1002/cae.22593>

- 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>
- Hurtado, L. L. (2018). Relación entre los índices de dificultad y discriminación. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 12(1), 273–300. <https://doi.org/10.19083/ridu.12.614>
- Kalemkuş, J., y Kalemkuş, F. (2022). Effect of the use of augmented reality applications on academic achievement of student in science education: meta analysis review. *Interactive Learning Environments*, 31(9), 6017–6034, <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2027458>
- Kamińska, D., Zwoliński, G., Laska-Leśniewicz, A., Raposo, R., Vairinhos, M., Pereira, E., Urem, F., Hinić, M. L., Haamer, R. E., y Anbarjafari, G. (2023). Augmented Reality: Current and New Trends in Education. *Electronics*, 12(16), Article 3531. <https://doi.org/10.3390/electronics12163531>
- Koumpouros, Y. (2024) Revealing the true potential and prospects of augmented reality in education. *Smart Learning Environments*, 11, Article 2. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00288-0>
- Lampropoulos, G., Keramopoulos, E., Diamantaras, K., y Evangelidis, G. (2022). Augmented Reality and Gamification in Education: A Systematic Literature Review of Research, Applications, and Empirical Studies. *Applied Sciences*, 12(13), Article 6809. <https://doi.org/10.3390/app12136809>
- Mongan, S. W., Mondolang, A. H., y Poluakan, C. (2020). Misconception of weights, normal forces and Newton third law. *Journal of Physics: Conference Series*, 1572, Article 012046. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1572/1/012046>
- Nikou, S. A. (2024). Factors influencing student teachers' intention to use mobile augmented reality in primary science teaching. *Education and Information Technologies*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12481-w>
- Novita, R. R. (2023). Physics E-book with Augmented Reality to Improve Students' Interest in Physics. *Jurnal Pendidikan Indonesia*, 12(1), 145–154. <https://doi.org/10.23887/jpiundiksha.v12i1.52764>
- Ortiz, G. M., Díaz, P. A., Llanos, O. R., Pérez, S. M., y González, K. (2015). Dificultad y discriminación de los ítems del examen de Metodología de la Investigación y Estadística. *Revista Educación Médica del Centro*, 7(2), 19–35. <http://www.revedumecentro.sld.cu/index.php/edumc/article/view/474>
- Permana, T. I., Husamah, H., Nurhamdani, M. I., Zaskia, A., Savitri, A., y Salsabila, D. A. (2024). Augmented reality in biology education: A systematic literature review. *Research and Development in Education*, 4(1), 630-652. <https://doi.org/10.22219/raden.v4i1.32636>
- Radu, I. y Schneider, B. (2023). How Augmented Reality (AR) Can Help and Hinder Collaborative Learning: A Study of AR in Electromagnetism Education. *IEEE Transactions on*

Visualization and Computer Graphics, 29(9), 3734–3745.
<https://doi.org/10.1109/TVCG.2022.3169980>

Serhane, A., Debiache, M., Boudhar, K., y Zeghdaoui, A. (2023). Difficulties Facing Students in Transition to Newtonian Viewpoint: Newton's Third Law Case. *Science Journal of Education*, 11(1), 43-50. <https://doi.org/10.11648/j.sjedu.20231101.17>

Serway, R. A., y Jewett, J. W. (2018). *Física para Ciencias e Ingeniería 1* (10ma ed.). Cengage Learning.

Vidak, A., Šapić, I. M., Mešić, V., y Gomzi, V. (2024). Augmented reality technology in teaching about physics: a systematic review of opportunities and challenges. *European Journal of Physics*, 45(2), Article 023002. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/ad0e84>

Young, H. D., y Freedman, R. A. (2018). *Física Universitaria con Física Moderna 1*. Pearson Educación.

Wilson, J., Buffa, A. J., y Lou, B. (2007). *Física* (6ta ed.). Pearson Educación.

Zamahsari, G. K., Amalia, M. N., Rifah, L., Permana, F., Romadhon, S., y Prihatini, A. (2024, January). A Systematic Review in Educational Settings: Numerous Challenges to the Adoption of Augmented Reality. *Proceedings of the 18th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication*. Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE. <https://doi.org/10.1109/IMCOM60618.2024.10418449>

Para citar este artículo:

Aguilar Acevedo, F., Flores Cruz, J. A., Pacheco Bautista, D., y Dueñas Reyes, E. (2024). Aprendizaje conceptual de las leyes de Newton mediante secuencias didácticas con simulaciones en realidad aumentada. *EduTec, Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (90), 19-33. <https://doi.org/10.21556/edutec.2024.90.3295>