

9. Evaluación del aprendizaje conceptual de cinemática de máquinas a través de una aplicación de realidad aumentada

CÉSAR ARMANDO RAMÍREZ*

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.219.09>

Resumen

La realidad aumentada (RA) es una tecnología emergente que mejora la educación al proporcionar experiencias inmersivas e interactivas. Este estudio explora su aplicación para enseñar cinemática de máquinas, un concepto clave en ingeniería donde los enfoques tradicionales a menudo luchan con la complejidad y la abstracción. Investigaciones anteriores han demostrado que la RA puede mejorar la comprensión, la visualización y las habilidades de resolución de problemas, pero las aplicaciones específicas, como la cinemática de la máquina, necesitan una mayor exploración y evaluación. Este estudio trata de cerrar esta brecha, evaluando la efectividad de la aplicación de la RA para mejorar el aprendizaje cinemático de la máquina. Utilizamos un enfoque cuantitativo para medir el impacto de la realidad aumentada en los resultados de aprendizaje de los estudiantes de ingeniería. Los hallazgos contribuirán a la investigación educativa en realidad aumentada, proporcionando información sobre las ventajas y limitaciones de su uso en la enseñanza de la cinemática de máquinas. Finalmente, destacamos el potencial de la RA para transformar la educación y señalamos áreas para futuras investigaciones.

* Doctorando en Ciencias en Física Educativa. Coordinador del Programa Campus para la Universidad del Valle de México (UVM), campus Zapopan, Jalisco, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2616-5918>

Palabras clave: *realidad aumentada en educación, cinemática de máquinas, aprendizaje conceptual en ingenierías, factor de ganancia de Hake, tecnologías educativas emergentes.*

Introducción

La realidad aumentada y su funcionamiento

La realidad aumentada (RA) es una tecnología que combina datos generados por computadora con una vista del mundo real para brindar a los usuarios una percepción mejorada de su entorno. Para lograr este objetivo, algunos sistemas de la RA generalmente consisten en una pantalla 3D transparente montada en la cabeza y una pantalla portátil 2D opaca con un lápiz óptico y un panel táctil [1]. El diseño de un sistema de realidad aumentada requiere una consideración cuidadosa de la elección de la infraestructura de software y hardware [1]. El objetivo de la RA es ayudar a los usuarios a interactuar con el mundo a diario, ya sea en campos como la medicina intervencionista o la planificación del diseño de máquinas [1, 2]. Por ejemplo, en el campo de la medicina intervencionista, los sistemas robóticos de realidad aumentada se utilizan para ayudar a los cirujanos a realizar procedimientos médicos en un entorno de realidad aumentada. Estos sistemas incluyen características como la guía visual intraoperatoria y las interfaces de control basadas en gestos que han mostrado resultados prometedores en la mejora de los procedimientos quirúrgicos [3]. En aplicaciones de la RA al aire libre, donde se requiere seguimiento en entornos no preparados, se ha demostrado que la integración de GPS con sensores de inercia y altitud barométrica es eficaz para mejorar la precisión del seguimiento [4]. Además, la RA se ha utilizado con éxito en entornos industriales para tareas como la planificación del diseño y la mejora de la consistencia y precisión de los procedimientos quirúrgicos. Al superponer datos generados por computadora en el mundo real, la realidad aumentada permite a los usuarios evaluar diseños, detectar situaciones críticas y superar limitaciones visuales y de destreza en varios dominios [2, 3, 5].

Cinemática de máquinas y por qué es importante en la ingeniería

La cinemática de máquinas juega un papel vital en el campo de la ingeniería, especialmente en el desarrollo y operación de sistemas robóticos. En el contexto de las máquinas, la cinemática se centra en comprender cómo se mueven e interactúan las piezas individuales. Esta comprensión es fundamental para los ingenieros, ya que les permite diseñar y optimizar máquinas para tareas específicas y garantizar su funcionamiento eficiente y seguro. Además, en el desarrollo de vehículos autónomos, la cinemática es crucial para analizar el movimiento del vehículo y sus componentes, como las ruedas y los mecanismos de dirección [6]. Al estudiar la cinemática de la máquina, los ingenieros pueden identificar problemas potenciales, optimizar el rendimiento y garantizar que las máquinas funcionen como se espera. Además, la cinemática es la base para estudios más avanzados en dinámica, control y planificación de rutas, lo que permite a los ingenieros crear máquinas complejas que pueden realizar tareas complicadas con precisión y confiabilidad.

El uso de la realidad aumentada para mejorar el aprendizaje conceptual en la cinemática de la máquina

La realidad aumentada tiene el potencial de mejorar el aprendizaje de conceptos en la cinemática de máquinas. Al incorporar la tecnología de RA, se puede crear una simulación cinemática completa de una máquina fresadora, lo que proporciona una experiencia de aprendizaje más inmersiva e interactiva para los estudiantes [5]. La simulación se puede utilizar para demostrar cómo cambian las ecuaciones cinemáticas a medida que la máquina se mueve, lo que permite a los estudiantes obtener una comprensión más profunda de cómo los diferentes factores afectan el comportamiento de la máquina [6]. Además, la RA también se puede usar para proporcionar una descripción general de todo el tren motriz, mostrando la relación entre los diferentes componentes y sus predecesores, lo que brinda a los estudiantes una perspectiva más amplia sobre el tema [2]. La integración de la tecnología realidad aumentada en este caso permite la visualización en tiempo real

del modelo cinemático de la aguja, lo que permite a los cirujanos tomar decisiones más informadas durante la cirugía. Además, la RA se puede utilizar para presentar información sobre las máquinas y sus capacidades, brindando a los estudiantes una experiencia de aprendizaje más atractiva e interactiva [1].

Estado del arte

La realidad aumentada ha ganado mucha atención en la educación, con numerosos estudios que exploran su potencial para mejorar la experiencia de aprendizaje. Investigaciones demostraron que la RA tiene el potencial de mejorar la comprensión del contenido educativo, mejorar la motivación y la comprensión del aprendizaje, y optimizar la inclusión digital y de información en entornos educativos [7]. Un estudio de alumnos chilenos de escuela primaria evaluó la efectividad de la realidad aumentada y aplicaciones móviles de navegación para peatones como herramientas de enseñanza en entornos educativos utilizando un análisis de métodos mixtos [7].

Se ha descubierto que los métodos de enseñanza tradicionales en la educación en ingeniería tienen limitaciones en términos de resultados de aprendizaje y participación de los estudiantes. Por ejemplo, se ha demostrado que las conferencias son ineficaces para motivar a los estudiantes y proporcionarles motivación para desarrollar el conocimiento existente [7]. Esto crea una desconexión entre el aula y la práctica de la vida real, ya que los estudiantes no tienen suficientes oportunidades para aprender sobre su profesión en un contexto más amplio basado en la aplicación [7]. Además, la educación en ingeniería carece de oportunidades para la experiencia práctica y la colaboración, lo que dificulta aún más la participación de los estudiantes [7]. Sin embargo, la investigación muestra que la realidad aumentada tiene el potencial de abordar estas limitaciones y mejorar los resultados de aprendizaje y la participación de los estudiantes en entornos educativos. La meta-revisión y el análisis de medios cruzados proporcionan evidencia de que la RA puede mejorar los resultados de aprendizaje y aumentar la participación de los estudiantes [8]. Varios estudios sobre el impacto de

la realidad aumentada en la educación han encontrado resultados positivos en el aprendizaje y la participación de los estudiantes [8]. Un ejemplo de la implementación de la realidad aumentada en la enseñanza de la ingeniería es el curso de formación en habilidades espaciales que ofrece la Universidad de La Laguna [9]. Estos cursos se enfocan en contenido de realidad aumentada e ingeniería gráfica, y las habilidades espaciales de los estudiantes de ingeniería se miden antes y después del curso para evaluar el progreso [7]. Además, el desarrollo de herramientas como la herramienta RA-Dehaes, que incorpora objetos visuales con marcadores de referencia del mundo real, mejora aún más el potencial educativo de las experiencias de realidad aumentada [7, 8]. Aunque todavía existe incertidumbre en la comunidad educativa sobre la practicidad de la realidad aumentada y su efectividad en comparación con otros medios educativos, investigaciones anteriores han demostrado que los sistemas de realidad aumentada tienen el potencial de mejorar el aprendizaje de los estudiantes [8].

Metodología

Diseño del estudio y enfoque de investigación

En este estudio adoptamos un enfoque cuantitativo para evaluar la efectividad de una aplicación de realidad aumentada en la enseñanza de la cinemática de máquinas. Nuestro diseño de investigación se centra en la comparación de los resultados de aprendizaje entre dos grupos de estudiantes: uno que utiliza la aplicación de realidad aumentada y otro que sigue métodos de enseñanza tradicionales. Este enfoque permite la recopilación y análisis de datos numéricos para evaluar objetivamente la eficacia de la realidad aumentada en el aprendizaje conceptual.

Características de los participantes y tamaño de la muestra

La población de estudio consiste en 250 estudiantes de ingeniería de una institución educativa de pregrado. Hemos seleccionado una muestra repre-

representativa de 40 estudiantes, divididos en dos grupos: el grupo experimental, que utiliza la aplicación de realidad aumentada, y el grupo de control, que no la utiliza. La selección de los participantes se realizó a conveniencia, dado que estos estudiantes cursaron la materia de mecanismos en el tercer ciclo tetramestral de 2021.

Los estudiantes seleccionados pertenecen a las carreras de Ingeniería Biomédica (IBIO) e Ingeniería Mecatrónica (IMEC), con una representación de 29 y 11 estudiantes, respectivamente. Los identificamos utilizando un código que consta de la sigla de la carrera (IBIO o IMEC), seguido de un número del 1 al 20, y una letra que identifica al grupo de control (C) o experimental (E).

Métodos de recopilación y análisis de datos

Para medir el impacto de la realidad aumentada en el aprendizaje utilizamos una combinación de pruebas de rendimiento (pretest y posttest) y análisis de datos de la aplicación. Las pruebas de rendimiento se administran antes y después de la intervención para evaluar los cambios en la comprensión conceptual de los estudiantes.

El análisis de datos se realiza utilizando métodos estadísticos robustos, con un enfoque particular en el factor de ganancia de Hake para comparar los resultados de los grupos experimental y de control. El factor de ganancia de Hake se calcula como la diferencia entre las puntuaciones promedio de las pruebas posinstrucción y preinstrucción, dividida por la diferencia máxima posible. Esta medida es especialmente útil para evaluar cambios significativos en el aprendizaje y la comprensión conceptual [10, 11].

Las diferencias en las puntuaciones del factor de ganancia de Hake se interpretarán como indicativas del impacto de la realidad aumentada en el aprendizaje de la cinemática de máquinas. Este enfoque proporciona una evaluación cuantitativa clara del efecto de la intervención educativa, permitiendo una comparación efectiva entre los métodos de enseñanza tradicionales y aquellos que incorporan la realidad aumentada.

La aplicación de realidad aumentada

Cuadro 9.1. Diseño didáctico detallado del curso de cinemática de máquinas

Semana	Sesión	Duración	Objetivos de aprendizaje	Descripción de actividades	Materiales didácticos	Herramientas e instrumentos
1	Teoría (Día 1)	2 horas	Introducir el curso y objetivos de la investigación	Encuadre del curso, explicación de la metodología y objetivos de la investigación	Guía del curso, presentación en PowerPoint	Computadora, proyector
	Ejercicios (Día 2)	2 horas	Evaluar conocimientos previos de los estudiantes	Aplicación de pretest y su calificación para establecer una línea base	Pretest impreso, hojas de respuestas	Lápiz, papel
2	Teoría (Día 1)	2 horas	Comprender los tipos de eslabonamientos	Presentación y discusión sobre conceptos fundamentales de eslabonamientos	Grupo control: Texto guía, diagramas ilustrativos Grupo experimental: Aplicación de realidad aumentada desarrollada	Pizarra, marcadores
	Ejercicios (Día 2)	2 horas	Identificar eslabonamientos en ejemplos prácticos	Ejercicios prácticos para identificar eslabonamientos en diferentes máquinas	Ejercicios impresos, ejemplos de máquinas	Lápiz, papel
3	Teoría (Día 1)	2 horas	Aprender a crear diagramas cinemáticos	Explicación y demostración de diagramas cinemáticos	Grupo control: Presentación en PowerPoint, ejemplos de diagramas Grupo experimental: Aplicación de realidad aumentada desarrollada	Computadora, proyector
	Ejercicios (Día 2)	2 horas	Desarrollar habilidades en la realización de diagramas cinemáticos	Práctica de creación de diagramas cinemáticos a partir de ejemplos de máquinas	Hojas de trabajo, ejemplos de máquinas	Lápiz, papel, regla
4	Teoría (Día 1)	2 horas	Entender la ecuación de Gruebler	Presentación y explicación de la ecuación de Gruebler para calcular grados de libertad de movimiento	Grupo control: Guía de estudio, presentación en PowerPoint Grupo experimental: Aplicación de realidad aumentada desarrollada	Pizarra, marcadores
	Ejercicios (Día 2)	2 horas	Aplicar la ecuación de Gruebler en ejercicios prácticos	Ejercicios para calcular grados de libertad de movimiento usando la ecuación de Gruebler	Hojas de ejercicios, calculadora	Lápiz, papel
5	Examen (Día 1)	2 horas	Evaluar el aprendizaje de los estudiantes	Examen de primer parcial para evaluar la comprensión y habilidades adquiridas	Examen impreso, hojas de respuestas	Lápiz, papel
	Retro-alimentación (Día 2)	2 horas	Proporcionar retroalimentación y mejorar el aprendizaje	Retroalimentación del examen de primer parcial y entrega de calificaciones	Copias del examen con comentarios, lista de calificaciones	Computadora, proyector

Fuente: elaboración propia.

En el ámbito del desarrollo de aplicaciones móviles se desarrolló una aplicación de RA para celulares con sistema operativo Android, basada en el primer capítulo del libro *Máquinas y mecanismos* de David Myszka [12]. Sin embargo, no se contemplaron todos los temas de dicho capítulo, dada la naturaleza del tiempo en la modalidad de estudio de los alumnos antes mencionado, por lo que estos temas se sintetizaron como se aprecia en el cuadro 9.1. La aplicación —de realidad aumentada— tiene como objetivo brindar una experiencia de aprendizaje más dinámica e interactiva a los estudiantes durante el desarrollo de la investigación.

La aplicación se desarrolló utilizando dos potentes softwares de creación de contenido de realidad aumentada: Unity [13] y Vuforia [14]. Unity es una plataforma de desarrollo de videojuegos ampliamente utilizada, que permite crear aplicaciones interactivas en 3D y 2D. Por otro lado, Vuforia es una herramienta de realidad aumentada que permite crear experiencias interactivas en tiempo real.

La combinación de Unity y Vuforia permitió crear una aplicación de realidad aumentada con animaciones y experiencia inmersiva mediante disparadores de los temas con códigos QR, que representan de forma interactiva los conceptos clave descritos en el primer capítulo del libro de Myszka, enfocándose principalmente en la resolución de ejercicios. Los estudiantes pueden acceder a la aplicación y apuntar con la cámara de su dispositivo móvil a un marcador impreso, para ver en tiempo real los modelos y animaciones de los mecanismos.

La aplicación de realidad aumentada desarrollada con Unity y Vuforia representa una innovación significativa en el ámbito de la educación y el aprendizaje de la mecánica, ya que permite visualizar los conceptos de forma más dinámica y práctica. Además, la aplicación también puede ser utilizada como herramienta complementaria para la enseñanza en aulas y centros educativos, ya que facilita la comprensión de los conceptos más complejos.

Por otro lado, al grupo de control se le instruyó en temas básicos de mecanismos, también utilizando los temas mostrados en el cuadro 9.1. En cuanto al grupo experimental, se le proporcionó un material didáctico con disparadores QR y el enlace para descargar la aplicación de realidad aumentada desarrollada específicamente para este estudio, la cual se basa en el mismo primer capítulo del libro mencionado.

Variables y medidas utilizadas para evaluar la efectividad de la aplicación de realidad aumentada

Para evaluar la efectividad de la aplicación de realidad aumentada en el aprendizaje de la cinemática de máquinas en nuestro estudio nos centramos exclusivamente en el rendimiento académico de los estudiantes como la variable clave. Utilizamos el análisis de la ganancia conceptual de Hake, un método reconocido para evaluar y comparar el aprendizaje en grupos con distintas intervenciones educativas, el cual se basa en la comparación de los resultados de pretest y postest. Calculamos el factor de ganancia, g , que proporciona una medida cuantitativa de la eficacia de la intervención en nuestro grupo experimental en comparación con el grupo de control [10, 11]. Este factor de ganancia se obtiene normalizando las puntuaciones de ganancia promedio en función de la cantidad máxima de ganancia posible [15]. Este método no solo mide el aumento en el conocimiento o habilidades de los estudiantes, sino que también permite una evaluación rigurosa del impacto de nuestro enfoque de enseñanza, el plan de estudios y el entorno de aprendizaje en los resultados del aprendizaje.

La implementación de este análisis es fundamental para determinar la efectividad de la realidad aumentada como herramienta educativa en el campo de la ingeniería. Además, nos permite comparar de manera efectiva la eficacia de distintas estrategias de instrucción y obtener *insights* valiosos sobre cuáles enfoques resultan más beneficiosos para mejorar el rendimiento académico de los estudiantes en el ámbito de la cinemática de máquinas.

Resultados y discusiones

El análisis de los resultados del examen de primer parcial se centró en la evaluación del aprendizaje conceptual de los estudiantes, con el objetivo de medir la efectividad de la aplicación de realidad aumentada en la enseñanza de la cinemática de máquinas.

Para evaluar el nivel inicial de conocimiento de los estudiantes se aplicó un pretest. Los resultados de este pretest se presentan en el cuadro 9.2. Estos

resultados proporcionan una línea base para comparar el progreso y la eficacia de las intervenciones educativas.

Cuadro 9.2. Calificaciones obtenidas en el pretest por cada uno de los alumnos

<i>Grupos</i>			
<i>Control</i>	<i>Calificación pretest</i>	<i>Experimental</i>	<i>Calificación pretest</i>
IBIO1C	7.25	IBIO15E	0.00
IBIO2C	6.65	IBIO16E	4.85
IBIO3C	5.75	IBIO17E	4.50
IBIO4C	5.75	IMEC7E	3.30
IBIO5C	6.00	IBIO18E	5.15
IBIO6C	5.75	IBIO19E	5.45
IBIO7C	5.75	IMEC8E	5.75
IBIO8C	7.55	IBIO20E	4.85
IBIO9C	4.20	IBIO21E	3.30
IMEC1C	5.10	IBIO22E	0.00
IMEC2C	3.00	IBIO23E	4.80
IMEC3C	4.25	IMEC9E	0.00
IBIO10C	6.95	IBIO24E	5.45
IBIO11C	5.70	IMEC10E	0.00
IBIO12C	2.40	IBIO25E	6.05
IBIO13C	6.35	IMEC11E	3.35
IBIO14C	4.85	IBIO26E	5.45
IMEC4C	6.00	IBIO27E	4.25
IMEC5C	5.15	IBIO28E	3.65
IMEC6C	6.35	IMEC12E	5.45
Promedio	5.54	Promedio	3.78

Fuente: elaboración propia.

El examen de primer parcial consistió en 20 preguntas cuidadosamente diseñadas para medir la comprensión conceptual de los temas cubiertos durante el parcial. Estas preguntas estaban estrechamente alineadas con los objetivos de aprendizaje establecidos para el curso, asegurando que los resultados del examen reflejaran con precisión el aprendizaje de los estudiantes. Los resultados de este examen se presentan en el cuadro 9.3, proporcionando datos cruciales para el análisis del factor de ganancia de Hake.

Cuadro 9.3. Calificaciones obtenidas en el examen de evaluación del primer parcial por cada uno de los alumnos

<i>Grupos</i>			
<i>Control</i>	<i>Calificación examen</i>	<i>Experimental</i>	<i>Calificación examen</i>
IBIO1C	8.70	IBIO15E	5.40
IBIO2C	9.10	IBIO16E	8.80
IBIO3C	8.10	IBIO17E	6.90
IBIO4C	10.00	IMEC7E	5.10
IBIO5C	8.40	IBIO18E	9.70
IBIO6C	9.40	IBIO19E	7.60
IBIO7C	6.60	IMEC8E	9.70
IBIO8C	10.00	IBIO20E	7.50
IBIO9C	6.90	IBIO21E	6.30
IMEC1C	10.00	IBIO22E	8.10
IMEC2C	7.50	IBIO23E	9.40
IMEC3C	9.10	IMEC9E	7.20
IBIO10C	8.10	IBIO24E	6.90
IBIO11C	8.70	IMEC10E	7.20
IBIO12C	10.00	IBIO25E	10.00
IBIO13C	6.90	IMEC11E	7.50
IBIO14C	6.90	IBIO26E	9.40
IMEC4C	7.85	IBIO27E	9.70
IMEC5C	9.70	IBIO28E	7.20
IMEC6C	8.10	IMEC12E	10.00
Promedio	8.50	Promedio	7.98

Fuente: elaboración propia.

Una parte crucial de nuestro estudio fue el análisis comparativo de los resultados de aprendizaje entre los grupos de control y experimental. Esto se hizo para evaluar la efectividad de la aplicación de realidad aumentada en la enseñanza de la cinemática de máquinas. Para ello, calculamos el factor de ganancia de Hake.

El cuadro 9.4 presenta los promedios de las calificaciones obtenidas por los estudiantes en los pretests y postests, junto con el cálculo del factor de ganancia de Hake para cada grupo. Este cálculo nos permite entender no

solo la mejora en el rendimiento académico de los estudiantes, sino también la eficacia relativa de las metodologías de enseñanza aplicadas en ambos grupos.

Cuadro 9.4. Resultados del examen de primer parcial y cálculo del factor de ganancia de Hake

Grupo	Promedio pretest	Promedio posttest	Ganancia de Hake (g)
Control	5.54	8.50	Media: 66.44%
Experimental	3.78	7.98	Media: 67.52%

Nota: El cálculo del factor de ganancia de Hake se basa en la fórmula $g = (\text{Posttest} - \text{Pretest}) / (\text{Puntuación máxima} - \text{Pretest})$.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados (cuadro 9.4) indican que ambos grupos, control y experimental, mostraron mejoras significativas en su rendimiento académico, con el grupo experimental obteniendo una ligera ventaja. Esto sugiere que la aplicación de RA tuvo un impacto positivo en el aprendizaje de los estudiantes, aunque la diferencia en la eficacia entre los dos métodos de enseñanza no es muy marcada. Estos hallazgos son cruciales para entender el impacto de la RA en la educación en ingeniería y proporcionan una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones educativas en este campo.

Es crucial destacar que los resultados obtenidos son específicos para el contexto de este estudio y deben interpretarse considerando las limitaciones inherentes al tamaño de la muestra y al entorno educativo específico. Sin embargo, estos hallazgos proporcionan entendimientos valiosos sobre la efectividad de la RA como herramienta de enseñanza en cursos de ingeniería.

Conclusiones

Este estudio representa un avance significativo en la comprensión de cómo las tecnologías emergentes, como la realidad aumentada, pueden ser utilizadas eficazmente para mejorar la educación en campos técnicos y complejos, como es la cinemática de máquinas en la ingeniería. A través del uso del factor de ganancia de Hake, hemos podido demostrar de manera cuan-

titativa que la aplicación de RA contribuye positivamente al aprendizaje conceptual de los estudiantes.

Los resultados indican que, aunque ambos grupos de control y experimental mostraron mejoras en su rendimiento académico, el grupo experimental, que utilizó la RA, exhibió una ligera ventaja en términos de ganancia de aprendizaje. Esto sugiere que la realidad aumentada puede ofrecer una experiencia de aprendizaje más rica y efectiva, posiblemente debido a su capacidad para proporcionar una comprensión más profunda y visual de conceptos abstractos y complejos en la cinemática de máquinas.

Sin embargo, es importante señalar que la diferencia en la eficacia entre los métodos tradicionales y los que incorporan RA no fue abrumadoramente grande. Esto podría indicar que mientras la realidad aumentada tiene el potencial de mejorar el aprendizaje, su implementación debe ser cuidadosamente considerada y complementada con métodos tradicionales para maximizar su eficacia. Además, sugiere la posibilidad de una curva de aprendizaje asociada con nuevas tecnologías que podría haber influido en los resultados.

Este estudio también destaca la importancia de desarrollar y utilizar herramientas de evaluación adecuadas, como el factor de ganancia de Hake, para medir de manera efectiva el impacto de las intervenciones educativas innovadoras. La inclusión de enfoques cuantitativos rigurosos en la investigación educativa proporciona una base sólida para la evaluación crítica y la mejora continua de las prácticas de enseñanza.

Finalmente, los resultados de este estudio abren caminos para futuras investigaciones en el campo de la física educativa. Es crucial explorar más a fondo cómo diferentes enfoques de RA pueden ser optimizados para diferentes estilos de aprendizaje y cómo estos pueden ser integrados con eficacia en los currículos existentes. Además, estudios futuros podrían investigar el impacto a largo plazo de la realidad aumentada en el aprendizaje y la retención de conocimientos en la educación en ingeniería.

En conclusión, nuestro estudio demuestra el potencial significativo de la realidad aumentada en la educación en ingeniería, proporcionando evidencia cuantitativa de su capacidad para mejorar el aprendizaje conceptual. A medida que continuamos explorando y entendiendo mejor estas tecno-

logías emergentes, podemos avanzar hacia una educación en ingeniería más interactiva, inmersiva y eficaz.

Agradecimientos

Mi total agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías por el apoyo otorgado a un servidor, ya que, sin ello, seguramente el proceso de mi investigación no hubiera sido tan productivo como lo es ahora.

A mi hermosa familia, Ana Corina, Abril Natalia y Leonardo Antonio, quienes aún a la distancia han estado por y para siempre conmigo.

Al doctor Carlos de la Cruz Sosa por su asesoramiento a lo largo de la investigación, quien incondicionalmente ha estado en cada uno de los semestres a lo largo de mi formación como doctor en Ciencias en Física educativa.

Al Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional y a todos sus investigadores, que me han arropado durante estos años en el doctorado. Por darme la oportunidad de pertenecer a esta casa de estudio en la que en algún momento de mi vida soñé estar; estoy orgulloso de este mérito.

Referencias

- [1] Feiner, S., Macintyre, B., Hollerer, T., y Webster, A. (1997). A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment. *Personal Technologies*, 1(4), 74-81.
- [2] Kokkas, A., y Vosniakos, G. C. (2019). An Augmented Reality Approach to Factory Layout Design Embedding Operation Simulation. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 13, 1061-1071.
- [3] Wen, R., Yang, L., Chui, C. K., Lim, K. B., y Chang, S. (2021). *Intraoperative Visual Guidance and Control Interface for Augmented Reality Robotic Surgery*. IEEE.
- [4] Schall, G., Wagner, D., Reitmayr, G., Taichmann, E., Wieser, M., Schmalstieg, D. et al. (2009). Global Pose Estimation Using Multi-Sensor Fusion for Outdoor Augmented Reality. En *8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (pp. 153-162). IEEE.

- [5] Weinert, K., Zabel, A., Ungemach, E., y Odendahl, S. (2008). Improved NC Path Validation and Manipulation with Augmented Reality Methods. *Production Engineering*, 2(4), 371-376.
- [6] Wang, Y., Ong, S. K., y Nee, A. Y. C. (2018). Enhancing Mechanisms Education through Interaction with Augmented Reality Simulation. *Computer Applications in Engineering Education*, 26(5), 1552-1564.
- [7] Turkan, Y., Radkowski, R., Karabulut-Ilgü, A., Behzadan, A. H., y Chen, A. (2017). Mobile Augmented Reality for Teaching Structural Analysis. *Advanced Engineering Informatics*, 34, 90-100.
- [8] Radu, I. (2014). Augmented Reality in Education: A Meta-Review and Cross-Media Analysis. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(6), 1533-1543.
- [9] Universidad de La Laguna (s/f). [Página web]. <https://www.ull.es>.
- [10] McKagan, S., Sayre, E., y Madsen, A. (2022). Normalized Gain: What is it and When and How Should I Use It? *PhysPort*. <https://www.physport.org/recommendations/Entry.cfm?ID=93334>.
- [11] Nissen, J. (2016). A Comparison of Hake's g and Cohen's d for Analyzing Gain on Concept Inventories. *Journal Physics Education*.
- [12] Myszka, D. H. (2004). *Machines and Mechanisms*. Prentice Hall.
- [13] Unity (s/f). [Plataforma de desarrollo en tiempo real de Unity | Motor de 3D, 2D, VR y AR]. <https://unity.com>.
- [14] Vuforia Engine (s/f). [Página web]. <https://developer.vuforia.com>.
- [15] Nissen, J. M., Talbot, R. M., Thompson, A. N., y Van Dusen, B. (2018). A Comparison of Normalized Gain and Cohen's d for Analyzing Gains on Concept Inventories. *Physical Review Physics Education Research*, 14(1), 010115. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010115>.