

Evaluación de herramienta de realidad aumentada en estudios universitarios de ingeniería

Evaluation of an augmented reality tool for university studies of engineering

José Antonio Hernández-Torres¹, Julio José Caparrós-Mancera¹,
Ángel Mariano Rodríguez-Pérez²,
César-Antonio Rodríguez-González¹

¹ Universidad de Huelva, España

² Universidad de Almería, España

joseantonio.hernandez@dimme.uhu.es , julio.caparros@diesia.uhu.es ,
angel.rodriguez@dcu.uhu.es , cesar@didp.uhu.es

RESUMEN. Este trabajo presenta el desarrollo y evaluación de una herramienta de realidad aumentada (RA) para prácticas de laboratorio en estudiantes universitarios de ingeniería. La herramienta se desarrolla utilizando la plataforma Zappar e incluye elementos de RA en el material docente. La evaluación se realiza comparando los resultados académicos de un grupo de estudiantes que utilizaron la herramienta con los de otro grupo que realizó la práctica de forma tradicional. Para esto se emplean técnicas estadísticas robustas, las pruebas de la mediana y de Mann-Whitney-Wilcoxon. Los resultados muestran que los estudiantes que utilizaron la herramienta de RA obtuvieron puntuaciones significativamente más altas. Esto indica que la RA puede ser una herramienta efectiva para mejorar el aprendizaje en prácticas de laboratorio, fomentando la adquisición de conocimiento y estimulando la autonomía del estudiante. La evaluación está referida a estudiantes de ingeniería del curso 2022-23, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Huelva.

ABSTRACT. This paper presents the development and evaluation of an augmented reality (AR) tool for laboratory practices in engineering students. The tool was developed using the Zappar platform and includes AR elements in the teaching material. The evaluation was conducted by comparing the academic results of a group of students who used the tool with those of another group who conducted the practice in a traditional way. For this, robust statistical techniques were used, namely the median and Mann-Whitney-Wilcoxon tests.

The results show that students who used the AR tool obtained significantly higher scores. This suggests that AR can be an effective tool for improving learning in laboratory practices, fostering knowledge acquisition and stimulating student autonomy. The evaluation is referred to engineering students from the 2022-23 academic year, at the Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Huelva.

PALABRAS CLAVE: Realidad aumentada, Prácticas de laboratorio, Evaluación educativa, Prueba de la mediana, Prueba de Mann-Whitney-Wilcoxon.

KEYWORDS: Augmented reality, Laboratory practices, Evaluation of education, Median test, Wilcoxon test.

1. Introducción

La Realidad Aumentada (en adelante RA) puede considerarse como un sistema o conjunto de sistemas cuya finalidad es la de aumentar la percepción que el usuario tiene de la realidad real o la información de la que dispone sobre el medio en el que se encuentra mediante la implementación de elementos virtuales en la misma (Santiago, Gutiérrez, & García, 2012; Fundación Telefónica, 2011; Cabero-Almenara, Barroso-Osuna, Llorente-Cejudo, & Fernández Martínez, 2019). De una manera más formal y siguiendo la definición de Azuma (1997), la RA puede definirse como un sistema que cumple las características de combinar lo real y lo virtual, ser interactivo en tiempo real, y estar registrado en 3D.

Se trata de una tecnología cuya implementación en dispositivos portátiles ha expandido su uso a un ritmo acelerado. Precisamente esta portabilidad y en muchos casos el desarrollo de aplicaciones de muy alto nivel ha facilitado una creciente integración de la RA en campos tan variados como la medicina, la industria, el diseño en ingeniería, la robótica, la fabricación o incluso en aplicaciones de mantenimiento y reparación. Por estas razones, la RA encuentra en la enseñanza mediante metodologías activas uno de los campos con mayor aplicabilidad y potencial.

Es preciso mencionar que las herramientas de RA se diseñan no solo en función del campo de aplicación o del dispositivo en el que se implemente, sino también de un tercer elemento interviniente en el diseño y uso de aplicaciones de RA. Estos son los triggers o disparadores, los cuales son los elementos a partir de los cuales "se activa" la aplicación. Estos pueden ser de diferentes tipos, imágenes, marcadores, objetos, códigos QR o una localización GPS (Blázquez-Sevilla, 2017). Los marcadores, son los elementos a partir de los que podemos diferenciar los diferentes tipos de RA en función de si se basa en geolocalización o en el uso de marcadores. Así mismo, se establecen diferentes niveles de realidad aumentada. Independientemente del tipo y nivel de RA, su desarrollo y uso general, junto a la adopción de herramientas digitales en tareas cotidianas ha permeado en las nuevas generaciones. Los estudiantes de hoy son aprendices digitales, prefiriendo el soporte digital frente al físico en muchos casos. Esto se debe a la gran accesibilidad a herramientas y aplicaciones que permite el soporte digital.

Centrándose en el ámbito académico, la RA puede aplicarse para el aprendizaje, el entretenimiento o la educación a través del entretenimiento, al mejorar la percepción del usuario y su interacción con el mundo real (Kesima & Ozarslanb, 2012). De acuerdo con Peddie (2017), la comodidad, las condiciones ambientales y el tipo de realce son solo algunos de los criterios que deben considerarse al elegir qué dispositivo es adecuado para una aplicación específica. En el caso de la educación en ingeniería, los smartphones o tablets son una elección posible, ya que están ampliamente disponibles y son utilizados por todos los estudiantes.

Esta investigación se propone ofrecer hallazgos fiables, fundamentados en una evaluación educativa, respecto a la formación de profesionales en el campo de las Ciencias y Tecnología. En detalle, este trabajo se centra, específicamente, en el uso de la RA en la formación inicial de ingenieros en la Universidad de Huelva. Para ello, se ha desarrollado una herramienta de RA y se ha realizado una exploración de su potencial como una herramienta innovadora para fomentar la adquisición de conocimiento y estimular la autonomía del estudiante. Así mismo, se pretende mejorar la adquisición de las competencias relacionadas con la comprensión de los conceptos implicados en la práctica, las cuales de conformidad con el Real Decreto 1393/2007, por el que se establece la ordenación de las Enseñanzas Universitarias Oficiales, se recogen en la memoria de verificación del título (Ministerio de educación, cultura y deporte, 2018).

Atendiendo a ello, el artículo se estructura de la siguiente manera: introducción, revisión de la literatura con el propósito, entre otros, de identificar las lagunas actuales en la investigación especializada, establecimiento de las bases del estudio para definir los objetivos específicos del estudio y subrayar la aportación original del artículo. Posteriormente, en la sección de "Materiales y Métodos" se proporciona un marco teórico aplicado y se detalla la metodología empleada en el estudio. A continuación, en la sección de "Resultados y Discusión" se presentan y analizan los resultados a través de un estudio estadístico de los datos

obtenidos, así como la comparación con otros trabajos actuales. Finalmente, en la sección de "Conclusiones" se resumen de manera concisa los hallazgos clave de la investigación, proporcionando un cierre lógico y una síntesis de los principales aportes del artículo.

2. Revisión de la literatura

El concepto de RA, así como sus posibles aplicaciones ha recibido y recibe una creciente atención en el campo de la investigación y evaluación educativa. Esto se debe en gran medida a la asociación realizada entre su uso y unas altas expectativas de un aprendizaje más motivador y efectivo (Akçayır & Akçayır, 2017; Dunleavy, Dede, & Mitchell, 2009; Johnson, Levine, Smith, & Stone, 2010). En consecuencia, y como ilustran numerosas revisiones de la literatura (Arici, Yildirim, Caliklar, & Yilmaz, 2019; Pellas, Fotaris, Kazanidis, & Wells, 2019; Tezer et al., 2019), el número de publicaciones ha aumentado constantemente, tal y como se muestra en la Figura 1.

En estos estudios, el potencial de la RA se relaciona principalmente con enfoques de aprendizaje constructivistas y situados, como el aprendizaje basado en la indagación (ABI) o en metodologías activas aplicadas al ámbito universitario, como por ejemplo el aprendizaje basado en problemas (ABP). Este hecho es especialmente notable en las áreas de educación en ciencias puras, aplicadas, tecnología, ingeniería y matemáticas (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018), pero también en áreas completamente diferentes como la formación sanitaria (Pugoy et al., 2016) o la fabricación (Bottani & Vignali, 2019).



Figura 1. Número de artículos sobre RA publicados en WOS. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con Akçayır y Akçayır (2017), los principales desafíos de RA en la educación identificados son problemas tecnológicos, de usabilidad y preocupaciones prácticas, como no encajar en una configuración de aula tradicional o no ser apropiado para escenarios de enseñanza de grupos grandes. Otro problema es el riesgo de sobrecargar cognitivamente a los estudiantes cuando interactúan con la tecnología de RA. Sin embargo, los resultados del estudio muestran hallazgos contradictorios: algunos autores, como Goff, Mulvey, Irvin y Hartstone (2018), Santos et al. (2016) y Sommerauer y Müller (2014) (Goff, Mulvey, Irvin, & Hartstone-Rose, 2018; Santos et al., 2016; Sommerauer & Müller, 2014) proporcionan evidencia de que RA puede mantener baja la carga cognitiva o incluso reducirla, liberando así las capacidades de memoria de trabajo y facilitando el aprendizaje. Es por esto que la RA ofrece una herramienta interactiva útil para reducir la carga cognitiva al crear una conexión entre la tarea física y la documentación de apoyo, mostrando la información sin interferir con la capacidad del usuario para concentrarse (Tang, Owen, Biocca, & Mou, 2003).

Así mismo, según Devagiri et al. (2022), el uso y dominio de herramientas de RA es de gran utilidad en el sector industrial, especialmente dado el creciente desarrollo de las tecnologías Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) y el Internet Industrial de las cosas (IIoT, por sus siglas también en inglés), para las cuales, las herramientas y plataformas de RA son una de las bases primordiales para su implementación.

El gran valor de la RA en diferentes sectores, desde la industria, hasta la educación, ha sido ampliamente

estudiado. Las aplicaciones de RA inicialmente comenzaron a aparecer en interfaces para dispositivos móviles (Larasser & Conradt, 1992), y luego comenzaron a aparecer en las industrias de la salud y automotriz en 2004 y 2005, respectivamente (Fischer, Bartz, & Straßer, 2004). Eventualmente se abrió camino en robótica (Green, Billinghamurst, Chen, & Chase, 2008), defensa (Livingston et al 2011), educación (Patel, Virparia, & Patel, 2012), y construcción y gestión de edificios (Chi, Kang, & Wang, 2013). En 2017, ganó popularidad en las industrias minorista y de moda (comercio electrónico) (Dacko, 2017) y comenzamos a ver la tendencia de RA e IA en turismo (tom Dieck & Jung, 2018).

En base a lo expuesto, pueden inferirse las siguientes carencias o limitaciones en los estudios analizados, y de manera general en la literatura especializada y orientada al uso de RA en la enseñanza de ingeniería:

- **Interacción en tiempo real:** Uno de los principales desafíos es la interacción en tiempo real entre los sistemas de RA y los usuarios. Esto incluye problemas relacionados con la latencia, el diseño de la interfaz de usuario y la integración de RA con otras tecnologías (Tuli, Singh, Mantri, & Sharma, 2022).
- **Desarrollo de contenido:** La creación de contenido educativo para aplicaciones de RA sigue siendo una tarea compleja que requiere una cantidad significativa de tiempo y experiencia técnica (Astudillo-Torres, 2019; Pérez, Robles, & Osuna, 2021).
- **Integración con el currículo:** La integración de la tecnología RA en el currículo existente también es un desafío. Requiere una planificación cuidadosa y recursos para asegurar que el uso de RA complementa, en lugar de interrumpir, los métodos tradicionales de enseñanza (Manríquez Medina, Pereira Fontalba, & Arriagada Herrera, 2020).
- **Falta de estándares:** No existen estándares o mejores prácticas ampliamente aceptados para el uso de RA en educación, lo que puede dificultar que los educadores implementen RA en sus aulas (Serna & Serna, 2021).

3. Metodología

3.1. Descripción de la experiencia

El estudio se enfoca dentro del campo de la ingeniería mecánica, específicamente en el área del diseño de máquinas, dentro del currículo de los estudios de grado en ingeniería mecánica, con una docencia teórico-práctica. La realización de prácticas de laboratorio tiene como objetivo el acercamiento del estudiantado a situaciones reales y a la directa puesta en práctica de los conocimientos teóricos adquiridos. Entre las competencias desarrolladas durante el transcurso de la asignatura son de especial interés las que recogidas en la Tabla 1:

Tipo de competencia	Código	Descripción
Básicas y generales	G01	Capacidad para la resolución de problemas.
	G04	Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica.
	G06	Actitud de motivación por la calidad y mejora continua.
	CB2	Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio.
Específicas	C03	Conocimientos de los fundamentos de ciencia, tecnología y química de materiales. Comprender la relación entre la microestructura, la síntesis o procesado y las propiedades de los materiales.
	E02	Conocimientos y capacidades para el cálculo, diseño y ensayo de máquinas.

Tabla 1. Competencias implicadas en el diseño de la herramienta de RA y la actividad. Fuente: (Ministerio de educación, cultura y deporte, 2018).

El alumnado de tercer curso, momento en que se encuadra la presente experiencia, se encuentra en una etapa de pre-inserción laboral, siendo habitual la realización de prácticas laborales. El acercamiento de las técnicas y tecnologías de vanguardia es beneficioso para el alumnado de cara a esta inserción laboral, proveyendo de experiencia en el uso de herramientas y conocimientos transversales ampliamente demandados (Steiner & Posch, 2006), aumentando no solo su preparación sino también la auto confianza de cara a futuros



retos a los que tendrán que hacer frente (Steiner & Laws, 2006).

Formalmente, la investigación ha seguido un enfoque cuantitativo, con una prueba de contraste del tipo pretest-posttest, empleando para ello unas técnicas estadísticas robustas (pruebas de la mediana y de Mann-Whitney-Wilcoxon). Y dado que la formación de los grupos experimental y de control no se ha podido efectuar de forma completamente aleatoria, la investigación es de corte cuasi-experimental. El desarrollo de la intervención, así como sus actividades previas y posteriores se recogen en la figura 2.

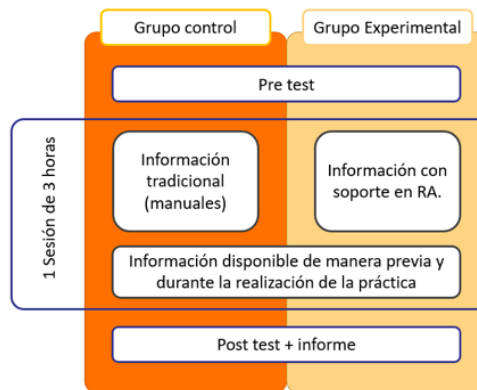


Figura 2. Evaluación de la RA en el estudio. Fuente: Elaboración propia.

3.2. Descripción de la herramienta evaluada

Siguiendo la estructura lineal mostrada en la Figura 3, se diseña una interfaz compuesta por 12 pantallas interactivas diferentes. Las dos primeras pantallas son introductorias, consistiendo en una portada a la actividad y una descripción del laboratorio y los diferentes puestos de trabajo establecidos. Tras esto, se llega a la tercera pantalla. Ésta es la pantalla central, consistiendo en un menú que da acceso al inicio de cada una de las principales secciones interactivas diseñadas: “Teoría”, “Realización”, “Informe”. Estas secciones se corresponden con una explicación de los fundamentos teóricos necesarios para entender y contextualizar el experimento realizado, una guía de los pasos necesarios para realizar la práctica y finalmente las indicaciones para realizar el informe final requerido.

De manera general, todas las pantallas cuentan con un botón de progresión el cual da acceso a la pantalla siguiente, mientras que las pantallas 3 a 12 cuentan adicionalmente con otro botón de regreso a la pantalla de menú general. En la Figura 3 se muestra en azul la progresión lineal de la herramienta, mientras que en naranja se muestra el acceso a la pantalla de menú general.

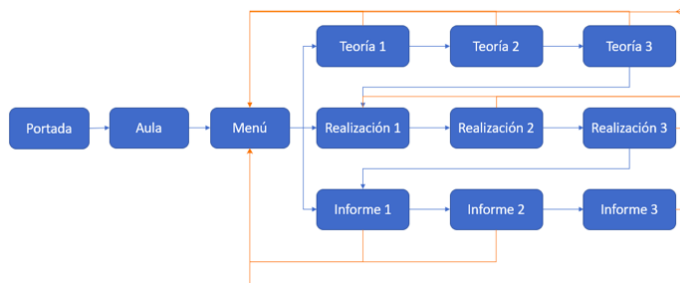


Figura 3. Diagrama de la aplicación de RA. Fuente: Elaboración propia.

3.3. Muestra

La muestra utilizada en el presente estudio fue seleccionada mediante muestreo no probabilístico y de tipo intencional (Otzen & Manterola, 2017). La muestra ha estado formada por el total del alumnado de la

asignatura: 57 estudiantes matriculados durante el curso 2022/2023. La experiencia se diseñó específicamente para la asignatura “Cálculo, Construcción y Ensayo de Máquinas”, perteneciente a las titulaciones universitarias de Grado en Ingeniería Mecánica, Doble grado en Ingeniería Mecánica y Electrónica y Doble grado en Ingeniería Mecánica y de Minas de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Huelva (UHU). Es necesario destacar que en base a los planes de estudios de las titulaciones en las que se encuadra la asignatura, los alumnos de los dobles grados, si bien siguen itinerarios curriculares y temporalizaciones diferentes, realizan la asignatura junto a los alumnos del grado en Ingeniería Mecánica sin diferenciación entre los alumnos en base a su titulación de origen.

3.4. Técnica de análisis de datos.

Se han empleado dos técnicas estadísticas no paramétricas robustas: la prueba de la mediana y la prueba de Mann-Whitney-Wilcoxon. La elección de la prueba de la mediana atiende a dos factores. Por un lado, ha sido una técnica estadística testada con éxito en contextos de enseñanza en la ingeniería (Rodríguez & Batanero, 2019). Y, por otro lado, desde el punto de vista de las técnicas estadísticas aplicadas a la evaluación educativa, da cumplimiento a los requisitos para la evaluación de la RA de acuerdo al tamaño de la muestra y reparto de los grupos experimental y de control. En concreto, estas pruebas, a su vez, han sido empleadas por autores de reconocida solvencia académica en análisis comparados en el ámbito educativo con grupos reducidos (García Llamas, Pérez Juste, & Río Sadornil, 2006). El uso de estas dos pruebas atiende a una doble verificación de los resultados obtenidos.

Para comprobar si existe una mejora significativa del rendimiento académico una vez recibido un tratamiento mediante una herramienta de RA, se emplearon las técnicas no paramétricas del test de la mediana y de Mann-Whitney-Wilcoxon (o U de Mann-Whitney según algunos autores). El tamaño de las muestras, inferiores en cada grupo a 30 alumnos con un total de 57, impone el empleo de la técnica estadística robusta, como es el caso de los test no paramétricos referidos. Con respecto a la evaluación, los puntos que definen la prueba efectuada son: 1) diseño cuasiexperimental de dos grupos independientes, con una variable independiente y muestras pequeñas ($n < 30$); 2) nivel de medida ordinal; 3) hipótesis bilateral: a) H_0 : no existe diferencias entre ambos grupos y b) H_1 : existen diferencias significativas; 4) contrastes no paramétricos. En la prueba de la mediana, la medida empleada hace referencia a dos únicos rangos o categorías: por encima o por debajo de la mediana o lugar central de todas las puntuaciones. La prueba de Mann-Whitney-Wilcoxon, por su parte, también emplea una medida referida a dos únicos rangos, si bien en este caso en lugar de la mediana, para establecer los rangos se emplea el estadístico W (García Pérez, 2010). La resolución de ambas pruebas se ha efectuado con el software R (The R Foundation, 2023).

4. Resultados y discusión

La presente sección describe la implementación de la herramienta de RA desarrollada en este trabajo y su evaluación educativa. En primer lugar, se describen las diferentes pantallas principales de la herramienta, que permiten al alumnado visualizar los conceptos teóricos, seguir el proceso de realización de la práctica, así como la tarea a realizar. A continuación, se describe el proceso de evaluación de la herramienta con los alumnos, la cual se realizó en tres fases: pretest, realización de la práctica y postest. Adicionalmente, con el objetivo de enriquecer el análisis, se realizó una evaluación complementaria mediante un cuestionario sobre la experiencia de uso y satisfacción de los usuarios. Por último, se indican dos líneas de investigación futuras en el contexto de la evaluación educativa en ingeniería.

4.1. Implementación de la herramienta de RA

La herramienta de RA diseñada se implementó en la aplicación Zappar, utilizando el editor Zappworks. Zappar es una plataforma de realidad aumentada que permite a los desarrolladores crear experiencias RA sin necesidad de conocimientos de programación. Zappworks es el editor de Zappar, que proporciona una interfaz gráfica de usuario para crear experiencias RA.

La herramienta se desarrolló utilizando los diferentes recursos disponibles en Zappar, entre los que



destacan: (1) Los puntos de anclaje, los cuales son marcadores visuales que se utilizan para colocar objetos RA en el mundo real; (2) Objetos RA, consistentes en elementos virtuales que se pueden superponer en el mundo real; (3) Actividades RA, interacciones que se pueden realizar con objetos RA. La siguiente imagen muestra el marcador a partir del cual se activa la aplicación (Figura 4):

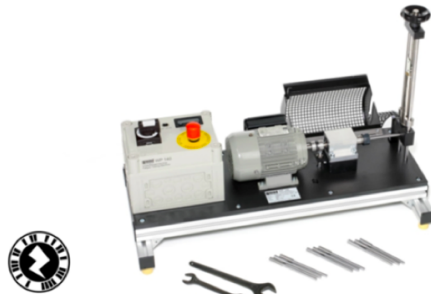


Figura 4. Marcador de activación de la herramienta de RA. Fuente: Elaboración propia.

Las pantallas principales de la herramienta se diseñaron siguiendo los principios de: (i) intuitividad: que las pantallas deben ser intuitivas y fáciles de usar; (ii) accesibilidad: que las pantallas deben ser accesibles para todo tipo de usuarios, independientemente de su nivel de experiencia en tecnología; y (iii) eficacia: las pantallas deben ser eficaces para lograr los objetivos de la herramienta. Las pantallas se diseñaron utilizando un estilo gráfico sencillo y minimalista, con colores claros y contrastes suaves. Se utilizaron imágenes y vídeos de alta calidad para ilustrar los conceptos teóricos y el proceso de realización de la práctica. Es preciso indicar que tanto los botones como las imágenes y vídeos dispuestos en cada diapositiva varían en tamaño, disposición y perspectiva, de acuerdo con la función de cada pantalla. En la Figura 5 se muestran algunas de las pantallas principales de la herramienta desarrollada.



Figura 5. Selección de pantallas de la herramienta diseñada. Fuente: Elaboración propia.

La herramienta descrita ha sido utilizada durante la realización de la práctica de laboratorio de la asignatura referida anteriormente: “Cálculo, Construcción y Ensayo de Máquinas”, presente en diversos grados de la Universidad de Huelva. La práctica en cuestión se realizó a escala real, con los equipos y material necesario para ello. En la figura 6 se muestra a un grupo de alumnos utilizando la aplicación durante el desarrollo de la práctica.



Figura 6. Alumnos utilizando la aplicación de RA diseñada durante la intervención. Fuente: Elaboración propia.

4.1.1. Evaluación de la experiencia mediante un cuestionario

El enfoque principal del presente trabajo es el desarrollo de la herramienta de RA y la posterior evaluación de las competencias adquiridas, a través de una prueba de contraste estadística. Adicionalmente, como medio de enriquecer la información disponible para la evaluación, se proporcionó un cuestionario de evaluación de la experiencia al grupo experimental, de manera que se obtuviese una retroalimentación sobre la experiencia de uso y satisfacción de los usuarios. Este cuestionario no se proporcionó al grupo de control por no haber utilizado la herramienta de RA. El cuestionario utilizado es el desarrollado por Georgiou y Kyza (2017) en su trabajo de desarrollo de un instrumento de medida de la inmersión durante el uso de herramientas de realidad aumentada. El cuestionario utilizado consta de veintinueve afirmaciones divididas en dos secciones principales. La primera se enfoca en medir la atención del usuario. Disponiendo tres subgrupos, el primero centrado en el interés del usuario (cuestiones 1 a la 6), el segundo subgrupo en el tiempo invertido (cuestiones 7 a 12) y el tercero en la usabilidad de la herramienta utilizada (cuestiones 13 a 18). Por su parte, la segunda sección se centra en la inmersión, estando compuesta por dos subgrupos, el primero enfocado en la atención (cuestiones 19 a 22) y finalmente, el último subgrupo (cuestiones 23 a 29) se centra en identificar el foco de atención principal durante la actividad. Cada pregunta contempla 5 respuestas posibles enfocadas en expresar el nivel de acuerdo o desacuerdo con la afirmación en cuestión, de manera que los valores 1 y 2 muestran desacuerdo, el valor 3 muestra indecisión y los valores 4 y 5 muestran acuerdo con la cuestión planteada.

En cuanto a la validación del cuestionario, la idoneidad de la estructura interna del cuestionario fue validada mediante análisis factorial confirmatorio, utilizando SPSS AMOS 21 (Georgiou & Kyza, 2017). La validez de constructo se validó examinando el valor de la fiabilidad compuesta [$CR > 0.6$], así como el valor de la varianza extraída promedio [$AVE > 0.5$] y la carga factorial estándar para cada ítem [> 0.5] (Fornell & Larcker, 1981; Hair, Anderson, Tatham, & Black, 1998). Los valores de fiabilidad compuesta [CR] y varianza extraída promedio [AVE] se emplearon para examinar la validez convergente y discriminante, respectivamente. Además, la validez discriminante se examinó comparando la correlación entre los constructos y la raíz cuadrada de la varianza extraída promedio (Hair, Anderson, Tatham, & Black, 1998).

Tras la realización de la actividad se solicitó a los alumnos partícipes de la RA la realización del citado cuestionario. Obtenidos los resultados, estos se clasificaron atendiendo a la dicotomización “Favorable” – “Desfavorable”. A partir de aquí se obtiene el resultado promedio de las cuestiones englobadas en cada ítem, como se muestra en de figura 7, de manera que se proporciona una perspectiva global.



Figura 7. Resultados de la evaluación de la experiencia. Fuente: Elaboración propia.

Tras la evaluación de los resultados del cuestionario, se detecta que estos son predominantemente positivos, lo que demuestra una valoración positiva por parte de los participantes. Esta circunstancia establece un ambiente propicio favorable para el uso de la herramienta de RA.

Es posible observar un alto nivel de interés en la herramienta, lo que indica que la herramienta es atractiva y capaz de captar la atención de los estudiantes participantes. Los estudiantes consideraron que el tiempo invertido en el uso de la herramienta fue favorable, lo que sugiere que no consideran que el uso de la herramienta sea una pérdida de tiempo y que puede ser útil para su aprendizaje. La herramienta también fue considerada fácil de usar, lo que indica que la interfaz de la herramienta es intuitiva y amigable para el usuario. Los estudiantes mostraron una dedicación favorable hacia el uso de la herramienta, lo que sugiere que están dispuestos a dedicar tiempo y esfuerzo para aprender y utilizar la herramienta. Sin embargo, los resultados de la categoría de atención son menos positivos. En esta categoría, se observa un número similar de respuestas favorables y desfavorables, remarcando que el porcentaje de alumnos con una respuesta indecisa es del 25%. Esto podría indicar que los estudiantes tienen dificultades para mantener la atención mientras utilizan la herramienta.

4.1.2. Evaluación de las competencias adquiridas

El objetivo principal de la investigación atiende a la evaluación de la herramienta RA como medio para aumentar el rendimiento académico, reflejado este último en la mejora de las competencias correspondientes a evaluar en la práctica (tabla 1). Desde el punto de vista metodológico de la educación, esta investigación, tal como se ha comentado, se encuadra en una metodología de evaluación cuantitativa. Para ello, se evalúa el progreso del aprendizaje de los estudiantes participantes en dos grupos, un grupo de control y un grupo experimental.

De acuerdo a lo establecido anteriormente, se realizaron las pruebas de control (pretest y posttest) obteniéndose las calificaciones mostradas en la tabla 2.

Pretest				Postest			
Grupo de Control		Grupo Experimental		Grupo de control		Grupo Experimental	
1.8	4.7	1.7	4.7	3.3	6.5	4.5	7.5
2	4.8	2	4.7	3.3	6.6	4.5	7.6
2.1	5.1	2.1	4.7	3.7	7	4.5	7.6
2.5	5.1	2.6	4.8	3.8	7.1	4.5	7.7
2.5	5.6	3	5	3.9	7.4	5.5	7.8
3.3	5.7	3.4	5.1	4.3	7.8	5.7	7.8
3.3	5.7	3.6	5.4	5.1	8	5.8	7.8
3.5	6.1	3.6	5.5	5.5	8.2	6.2	8
3.6	6.1	3.7	5.5	5.5	8.2	6.5	8.2
3.6	6.5	4	6.3	5.7	8.3	6.9	8.3
3.7	6.5	4.2	6.5	5.9	8.8	6.9	8.7
3.8	6.5	4.2	6.9	6	9.3	7.1	8.9
4.1		4.5	7	6		7.2	9
4.2		4.6	7.1	6.4		7.9	9.5
4.2		4.6	7.5	6.4		7.5	9.5

Tabla 2. Resultados de la prueba de control de conocimientos por grupos. Orden acorde al test de la mediana. Fuente: Elaboración propia.

A partir de estos datos es posible representarlos gráficamente empleando diagramas de cajas y bigotes o boxplots. A partir de estos diagramas, se puede realizar un análisis estadístico descriptivo de los resultados. La figura 8 ilustra la distribución de los resultados obtenidos, reflejando la variación resultante entre el pretest y el postest.

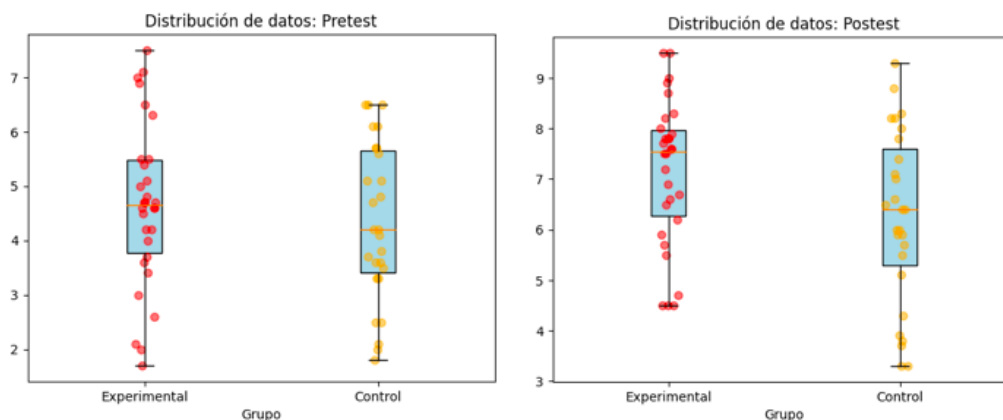


Figura 8. Distribución de resultados del pretest. Fuente: Elaboración propia.

En términos generales, la distribución de las puntuaciones del grupo experimental tiene un rango más amplio que la distribución de las puntuaciones del grupo de control, tanto en el pretest como en el postest. Esto se debe a que los estudiantes del grupo experimental obtuvieron puntuaciones con más variaciones, incluso con casos de estudiantes con puntuaciones muy bajas o muy altas.

En el pretest, la amplitud de la distribución de las puntuaciones del grupo experimental es mayor que la del grupo de control en todos los cuartiles. Esto se debe a la existencia de notas más altas en el cuartil superior del grupo experimental, ya que las mínimas son similares en ambos casos. Mientras que, en el postest, la distribución de las puntuaciones del grupo experimental se desplaza hacia arriba, lo que indica una mejora general del rendimiento de los estudiantes. Sin embargo, la amplitud de la distribución se reduce, lo que sugiere que los estudiantes del grupo experimental obtuvieron puntuaciones más consistentes, con menos casos de estudiantes con puntuaciones muy bajas.

Las medidas de tendencia central y dispersión proporcionan una descripción más precisa de la distribución

de las puntuaciones. En cuanto a la media de las puntuaciones del grupo experimental es de 4.62 en el pretest y de 7.15 en el postest. La media de las puntuaciones del grupo de control es de 4.32 en el pretest y de 6.22 en postest. Si bien la media del grupo experimental es superior en ambos casos, se puede observar que la diferencia obtenida en el pretest es prácticamente despreciable. Así mismo, se observa una ampliación de la diferencia entre ambas tras la realización del postest.

La mediana de las puntuaciones del grupo experimental es de 4.65 en el pretest, prácticamente, en el valor de la media, y de 7.55 en el postest, superior a la media. Por otro lado, la mediana de las puntuaciones del grupo de control es de 4.20 para el caso del pretest y de 6.4 en postest. Esto indica que la mitad de los estudiantes del grupo experimental obtuvieron puntuaciones más altas que la mitad de los estudiantes del grupo de control en ambos momentos de evaluación. Analizando la varianza de las puntuaciones del grupo experimental es de 2.34 en el pretest y de 2.15 en el postest, observándose una reducción de la variabilidad. Mientras que en el grupo de control la varianza de las puntuaciones es de 2.13 en el pretest, frente a 3.00 en el postest. Esto indica que si bien, en ambos grupos la tendencia es ascendente, mientras que en el grupo experimental también se consolida el grupo con una menor dispersión, en el grupo de control sucede lo contrario. Esto indica que las puntuaciones de los estudiantes del grupo experimental están más concentradas alrededor de la media que las puntuaciones de los estudiantes del grupo de control en ambos momentos de evaluación.

Para comprobar si existe una mejora significativa del rendimiento académico una vez realizada la actividad, se emplearon dos técnicas no paramétricas, por un lado, la prueba Mann-Whitney-Wilcoxon, y por otro, la prueba de la mediana. La selección de técnicas estadísticas robustas atiende al tamaño de las muestras, inferiores cada grupo a 30 alumnos, y que no permiten asegurar una normalidad al ser inferior a 50. La media es muy sensible a los valores extremos de los datos muestrales, por arriba o por abajo. Algunas técnicas robustas, tales como las pruebas referidas, toman a la mediana o al estadístico W como referencia para la evaluación evitando así este problema.

Estudios previos como el realizado por Rodríguez y Fernández Batanero (2017), con procedimientos análogos para muestras reducidas propias de grupos de trabajo en ingeniería, muestran una experiencia favorable con el empleo de técnicas estadísticas robustas, como parte de la herramienta necesaria para la evaluación del rendimiento académico en ingeniería. En el contexto de la investigación, si el nivel de significancia es menor o igual al 0.05, se tiene que rechazar la hipótesis nula (H_0). Esto se aplica a las dos pruebas no paramétricas.

La prueba de la mediana es una prueba estadística no paramétrica utilizada para comparar dos grupos de datos. La prueba de la mediana se trata de un caso particular de la prueba χ^2 , las cuales pertenecen a la misma familia de técnicas estadísticas. La prueba se basa en los rangos de los puntos de datos, en lugar de sus valores reales. Esto hace que la prueba sea robusta a los valores atípicos y a las distribuciones no normales. La realización de la prueba de la mediana en el software R arroja los datos mostrados en la Tabla 3.

	Pretest	Postest
χ^2	0.02365	3.9874
p-valor	0.8778	0.04584

Tabla 3. Resultados del test de la mediana. Fuente: Elaboración propia.

Donde χ^2 es el estadístico utilizado y el p-valor es la probabilidad de obtener una estadística de prueba tan extrema o más extrema que la estadística de prueba observada, suponiendo que la hipótesis nula es verdadera. La hipótesis nula (H_0) para la prueba de la mediana es que los dos grupos tienen la misma mediana.

Por otro lado, la prueba de contraste de Mann-Whitney-Wilcoxon, en el software R arroja los datos mostrados en la Tabla 4.

	Pretest	Posttest
W	447	530.5
p-valor	0.5068	0.0446

Tabla 4. Resultados del test de Mann-Whitney-Wilcoxon. Fuente: Elaboración propia.

Donde W es el estadístico de contraste de Wilcoxon.

En cuanto a la corrección de continuidad se utiliza para ajustar el p-valor para los empates en los datos. Los empates ocurren cuando dos o más puntos de datos tienen el mismo valor. La corrección de continuidad tiende a hacer que el p-valor sea más pequeño, lo que puede hacer que la prueba sea más potente.

En el posttest, tanto en la prueba de la mediana como en la prueba de Wilcoxon, se obtiene un p-valor inferior a 0.05, lo que implica que el resultado es estadísticamente significativo. Se debe por tanto rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alternativa (H_1), que establece diferencias significativas entre los grupos experimental y de control. La dirección de la diferencia es tal que las puntuaciones de posttest del grupo experimental son más altas que las puntuaciones de posttest del grupo de control. De estos resultados se extrae que la herramienta de RA tiene un potencial significativo para mejorar la experiencia de aprendizaje en la asignatura de Cálculo, Construcción y Ensayo de Máquinas. La mejora diferencial, a favor del grupo experimental, en el rendimiento académico, se hace evidente.

Finalmente, Para visualizar los datos globales, éstos se dicotomizan en “Apto” y “No Apto”, obteniendo el diagrama de la figura 9.

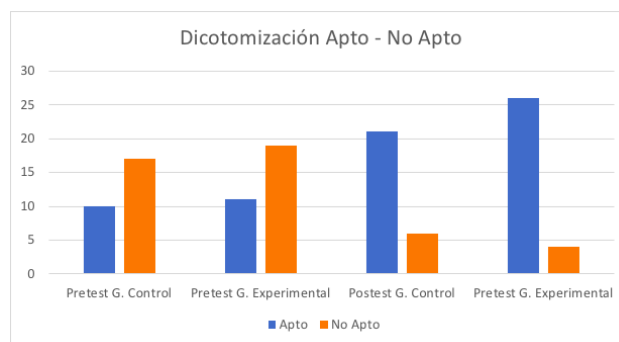


Figura 9. Dicotomización Apto – No Apto de los resultados. Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, el análisis detallado de los resultados del estudio sobre el impacto de una intervención educativa utilizando RA revela que los estudiantes que utilizaron la herramienta obtuvieron puntuaciones medias significativamente más altas en las pruebas de evaluación que los estudiantes que realizaron la práctica de forma tradicional. Además, las puntuaciones de los estudiantes del grupo experimental fueron más consistentes que las puntuaciones de los estudiantes del grupo de control. Estos resultados sugieren que la herramienta de RA tuvo un efecto positivo en el rendimiento académico de los estudiantes. Los estudiantes que utilizaron la herramienta obtuvieron puntuaciones medias más altas y más consistentes que los estudiantes que realizaron la práctica de forma tradicional.

En cuanto a la efectividad de la Intervención, los resultados del estudio indican claramente que la intervención educativa utilizando RA tuvo un efecto positivo significativo en el rendimiento académico de los estudiantes del grupo experimental. Este hallazgo sugiere que la incorporación de tecnologías inmersivas, como la RA, puede ser una herramienta eficaz para mejorar el aprendizaje en entornos educativos específicos.

La observación de que los estudiantes del grupo experimental exhibieron una distribución de puntuaciones más amplia y variada, con casos de rendimiento extremo, plantea preguntas interesantes sobre cómo la RA

puede afectar no solo el rendimiento promedio sino también la variabilidad en el rendimiento estudiantil. Esta variabilidad podría tener implicaciones pedagógicas importantes en términos de adaptabilidad a estilos de aprendizaje diversos (Gutiérrez-Monsalve, Garzón, & Segura-Cardona, 2021). Profundizar en esta cuestión aplicada a los estudiantes de ingeniería, se deja para una línea de investigación futura.

La llamada a realizar estudios longitudinales y a expandir la investigación a diferentes contextos educativos y poblaciones de estudiantes es crítica para evaluar la sostenibilidad y generalización de los efectos observados (Cabero, Barroso, & Llorente, 2019). No obstante, los grupos reducidos propios de prácticas en ingeniería, y la escasez relativa de investigaciones educativas en este contexto, invitan a un esfuerzo adicional siguiendo la línea dada por los autores referidos.

Por otro lado, la integración exitosa de la tecnología de RA en el currículo existente es esencial. Se recomienda una planificación cuidadosa, proporcionando recursos y apoyo técnico a educadores para asegurar una integración armoniosa que mejore la enseñanza sin interrumpir los métodos tradicionales, aunque la falta de estándares destaca la necesidad de que la comunidad educativa y los desarrolladores trabajen en conjunto para establecer pautas claras y mejores prácticas en el uso de RA en educación. La creación de estándares puede facilitar la implementación y garantizar la calidad de las experiencias educativas con tecnologías inmersivas. A su vez, se abre otra línea para investigar los mecanismos subyacentes por los cuales la intervención se tiene un efecto positivo en el rendimiento académico. Existe la posibilidad de que la intervención aumente la motivación de los estudiantes, les ayude a comprender mejor los conceptos académicos o les proporcione oportunidades para practicar sus habilidades.

5. Conclusiones

El estudio se centró en el diseño de una herramienta de RA para su uso en las clases de prácticas de la asignatura “Cálculo, Construcción y Ensayo de Máquinas” de diversos grados en ingeniería y el posterior análisis de los resultados obtenidos tras la implementación de esta herramienta. Se destaca un aumento en los niveles de motivación con el uso de la RA en el contexto del experimento. Se concluye que: 1) existen diferencias significativas en el rendimiento académico entre los alumnos que han participado en unas prácticas empleando una herramienta RA, y otros alumnos que no han utilizado esta herramienta. Se deduce, por tanto, que el empleo de una herramienta RA es efectivo para su aplicación en prácticas concretas en un contexto de enseñanza en ingeniería; 2) el empleo de una herramienta RA se presenta como un método didáctico eficaz. Los resultados de las pruebas de contraste, de Mann-Whitney- Wilcoxon y de la mediana, lo evidencian; y 3) Los resultados del cuestionario aplicado muestran una mayor motivación y satisfacción en el grupo experimental utilizando la herramienta de RA. En concreto, se observa una mejor comprensión de los conceptos académicos y una mayor implicación en el proceso de aprendizaje.

Financiación

Esta investigación no recibió financiación externa.

Cómo citar este artículo / How to cite this paper

Hernández-Torres, J. A.; Caparrós-Mancera, J. J.; Rodríguez-Pérez, A. M.; Rodríguez-González, C.-A. (2025). Evaluación de herramienta de realidad aumentada en estudios universitarios de ingeniería. *Campus Virtuales*, 14(1), 153-167. <https://doi.org/10.54988/cv.2025.1.1519>

Referencias

- Akçayır, M.; Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1–11.
- Arici, F.; Yildirim, P.; Caliklar, Ş.; Yilmaz, R. M. (2019). Research trends in the use of augmented reality in science education: Content

- and bibliometric mapping analysis. *Computers & Education*, 142, 103647.
- Astudillo-Torres, M. P. (2019). Aplicación de la Realidad Aumentada en las prácticas educativas universitarias. *RELATEC: revista latinoamericana de tecnología educativa*.
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. Presence: teleoperators & virtual environments.
- Blázquez-Sevilla, A. (2017). Realidad Aumentada en Educación. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, Gabinete de Tele-Educación.
- Bottani, E. (2019). Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade. *Lise Transactions*, 51(3), 284-310.
- Cabero, J.; Barroso, J.; Llorente, C. (2019). La realidad aumentada en la enseñanza universitaria. *Revista de docencia universitaria*.
- Cabero-Almenara, J.; Barroso-Osuna, J.; Llorente-Cejudo, C.; Fernández Martínez, M. D. (2019). Educational uses of augmented reality (AR): Experiences in educational science. *Sustainability*, 11(18), 4990.
- Chi, H. L.; Kang, S. C.; Wang, X. (2013). Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction. *Automation in construction*.
- Dacko, S. G. (2017). Enabling smart retail settings via mobile augmented reality shopping apps. *Technological forecasting and social change*.
- Devagiri, J. S.; Paheding, S.; Niyaz, Q.; Yang, X.; Smith, S. (2022). Augmented Reality and Artificial Intelligence in industry: Trends, tools, and future challenges. *Expert Systems with Applications*, 118002.
- Dunleavy, M.; Dede, C.; Mitchell, R. (2009). Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18(1), 7-22.
- Fischer, J.; Bartz, D.; Straßer, W. (2004). Occlusion handling for medical augmented reality using a volumetric phantom model. In *ACM symposium on Virtual reality software and technology* (pp. 174-177).
- Fornell, C.; Larcker, D. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Mark. Res.*, 18, 39-50.
- Fundación Telefónica. (2011). Realidad Aumentada: una nueva lente para ver el mundo. Madrid: Fundación Telefónica.
- García Llamas, J.; Pérez Juste, R.; Río Sadornil, D. (2006). Problemas y diseños de investigación resueltos. Madrid, España: Dykinson.
- García Pérez, A. (2010). Estadística Básica con R. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Georgiou, Y.; Kyza, E. A. (2017). The development and validation of the ARI questionnaire: An instrument for measuring immersion in location-based augmented reality settings. *International Journal of Human-Computer Studies*.
- Goff, E. E.; Mulvey, K. L.; Irvin, M. J.; Hartstone-Rose, A. (2018). Applications of augmented reality in informal science learning sites: A review. *Journal of Science Education and Technology*.
- Green, S. A.; Billingham, M.; Chen, X.; Chase, J. G. (2008). Human-robot collaboration: A literature review and augmented reality approach in design. *International journal of advanced robotic systems*.
- Gutiérrez-Monsalve, J. A.; Garzón, J.; Segura-Cardona, A. M. (2021). Factores asociados al rendimiento académico en estudiantes universitarios. *Formación universitaria*.
- Hair, J.; Anderson, R.; Tatham, R.; Black, W. (1998). *Multivariate Data Analysis*. 5th ed.. Prentice-Hall International. Upper Saddle River, New Jersey.
- Ibáñez, M. B.; Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109-123.
- Johnson, L.; Levine, A.; Smith, R.; Stone, S. (2010). The 2010 Horizon Report. . The New Media Consortium.
- Kesima, M.; Ozarslan, Y. (2012). Augmented reality in education: current technologies and the potential for education. *Social and Behavioral Sciences*.
- Larasser, T.; Conradt, J. (1992). Cross-modal natural user interfaces for mobile devices: From sensory data to augmented cognition.
- Livingston, M. A.; Rosenblum, L. J.; Brown, D. G.; Schmidt, G. S.; Julier, S. J.; Baillot, Y.; ...; Maassel, P. (2011). Military applications of augmented reality. In *Handbook of augmented reality* (págs. 671-706). Springer.
- Manríquez Medina, C.; Pereira Fontalba, A.; Arriagada Herrera, P. (2020). Uso de realidad aumentada por estudiantes de formación inicial docente de pedagogía media en lenguaje, para establecer la integración curricular, grado de motivación y aceptación al uso de la tecnología. Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- Ministerio de educación, cultura y deporte. (2018). Memoria de verificación Grado Ingeniería Mecánica UHU. Madrid: Ministerio de educación, cultura y deporte.
- Otzen, T.; Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International journal of morphology*.
- Patel, M.; Virparia, P.; Patel, D. (2012). Web based fuzzy expert system and its applications—a survey. *International Journal of Applied Information Systems*, 1(7), 11-15.
- Peddie, J. (2017). *Augmented Reality. Where We Will All Live*. Cham: Springer International Publishing.
- Pellas, N.; Fotaris, P.; Kazanidis, I.; Wells, D. (2019). Augmenting the learning experience in primary and secondary school education: a systematic review of recent trends in augmented reality game-based learning. *Virtual Reality*, 23(4), 329-346.
- Pérez, S. M.; Robles, B. F.; Osuna, J. B. (2021). La realidad aumentada como recurso para la formación en la educación superior. *Campus Virtuales*, 10(1), 9-19.
- Pugoy, R. A.; Ramos, R. C.; Figueroa Jr, R. B.; Rivera, M. H.; Sitarungsri, B.; Cheevakasemsook, A.; ...; Kaewsarn, P. (2016). Augmented reality in nursing education: addressing the limitations of developing a learning material for nurses in the Philippines and Thailand. *International Journal on Open and Distance e-learning*, 2(1).
- Rodríguez, C. A.; Fernández-Batanero, J. M. (2017). Evaluación del aprendizaje basado en problemas en estudiantes universitarios de construcciones agrarias. *Formación universitaria*.



- Santiago, R.; Gutiérrez, D.; García, S. (2012). Realidad Aumentada. (<http://castor.edv.uniovi.es/~smi/5tm/10trabajosteoricos/5/RealidadAumentada.pdf>).
- Santos, M. E.; Lübke, A. I.; Taketomi, T.; Yamamoto, G.; Rodrigo, M. M.; Sandor, C.; Kato, H. (2016). Augmented reality as multimedia: the case for situated vocabulary learning. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*.
- Serna, E.; Serna, A. (2021). La importancia de internacionalizar la educación superior: Una reflexión global. *Revolución en la formación y la capacitación para el siglo XXI*.
- Sommerauer, P.; Müller, O. (2014). Augmented reality in informal learning environments: A field experiment in a mathematics exhibition. *Computers & education*.
- Steiner, G.; Posch, A. (2006). Higher education for sustainability by means of transdisciplinary case studies: an innovative approach for solving complex, real-world problems. *Journal of Cleaner production*, 9(11), 877-890.
- Tang, A.; Owen, C.; Biocca, F.; Mou, W. (2003). Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly. In *SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 73-80).
- Tezer, M.; Yıldız, E. P.; Masalimova, A. R.; Fatkhutdinova, A. M.; Zheltukhina, M. R.; Khairullina, E. R. (2019). Trends of augmented reality applications and research throughout the world: Meta-analysis of theses, articles and papers between 2001-2019 years. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 14(22), 154.
- The R Foundation. (2023). The R Project for Statistical Computing. (<https://www.r-project.org/>).
- Tom Dieck, M. C.; Jung, T. (2018). A theoretical model of mobile augmented reality acceptance in urban heritage tourism. *Current Issues in Tourism*, 2, 154-174.
- Tuli, N.; Singh, G.; Mantri, A.; Sharma, S. (2022). Augmented reality learning environment to aid engineering students in performing practical laboratory experiments in electronics engineering. *Smart Learning Environments*.