

Realidad aumentada para mejorar la enseñanza en ingeniería mecánica

Rosa Pàmies-Vilà¹, Joan Puig-Ortiz¹, Lluïsa Jordi Nebot¹

¹Departamento de Ingeniería Mecánica. Universitat Politècnica de Catalunya, España. rosa.pamies@upc.edu, joan.puig@upc.edu, lluisa.jordi@upc.edu

Resumen

El aprendizaje de asignaturas de ingeniería mecánica requiere una visión espacial sólida para comprender el movimiento y funcionamiento de los mecanismos. Tradicionalmente, esta competencia se ha adquirido mediante maquetas didácticas que suelen presentar limitaciones de coste y disponibilidad. Este estudio presenta la implementación de una aplicación móvil de Realidad Aumentada (RA) para mejorar la enseñanza de la asignatura Teoría de Máquinas y Mecanismos en la UPC. La aplicación, desarrollada con Unity, permite interactuar con modelos 3D de los mecanismos mediante dispositivos móviles. La metodología incluye: desarrollo de modelos CAD 3D, implementación de escenas para cada mecanismo, creación de iconos representativos para RA e integración de funcionalidades interactivas mediante *scripts* personalizados. Se evalúa la efectividad de la aplicación mediante reuniones con el profesorado y encuestas al alumnado. Los resultados muestran alta satisfacción con la aplicación, destacando mejoras en la comprensión, la facilidad de uso y la flexibilidad para revisar las prácticas.

Palabras clave: Realidad Aumentada; Ingeniería Mecánica; Innovación Docente; Unity; Teoría de Máquinas y Mecanismos.

Abstract

Learning mechanical engineering subjects requires strong spatial vision to understand the movement and functioning of mechanisms. Traditionally, this competence has been acquired through didactic models that often present cost and availability limitations. This study presents the implementation of an Augmented Reality (AR) mobile application to improve the teaching of the subject Mechanisms and Machines Theory at UPC. The application, developed with Unity, allows interaction with 3D models of the mechanisms through mobile devices. The methodology includes: development of 3D CAD models, implementation of scenes for each mechanism, creation of representative icons for AR, and integration of interactive functionalities through custom scripts. The effectiveness of the application is evaluated through meetings with faculty and student surveys. The results show high satisfaction with the application, highlighting improvements in understanding, ease of use, and flexibility to review the practice.

Keywords: Augmented Reality; Mechanical Engineering; Educational Innovation; Unity; Mechanisms and Machines Theory

1. Introducción

El aprendizaje de las asignaturas relacionadas con las máquinas en el ámbito de la ingeniería mecánica requiere una notable capacidad de visión espacial para entender el movimiento y funcionamiento de todos sus componentes [1]

Tradicionalmente, esta habilidad se ha desarrollado mediante el uso de maquetas. Sin embargo, el uso de estas maquetas didácticas presenta, a menudo, limitaciones significativas debido a su alto coste y a su disponibilidad restringida a ciertas aulas o laboratorios específicos [2]

Por otra parte, la introducción de metodologías participativas ha demostrado ser eficaz en la mejora de los procesos de enseñanza-aprendizaje [3], aunque no es fácil incorporar estas nuevas metodologías en asignaturas con un número elevado de alumnos.

Para facilitar la comprensión del funcionamiento de los mecanismos, también se emplean programas de simulación específicos (PAM, WinMec, ADAMS) y genéricos (Geogebra, SolidWorks) [4]. No obstante, estos programas requieren, a menudo, un tiempo considerable de aprendizaje, lo que los convierte en menos prácticos para su uso ocasional en una asignatura [5].

1.1 Estado del arte

La introducción de la realidad aumentada (RA) como metodología educativa en la ingeniería ha surgido como una propuesta innovadora para mejorar la comprensión de los mecanismos y máquinas en el proceso de enseñanza-aprendizaje [6-10]. Esto permite superar las barreras de disponibilidad de recursos físicos y facilita la comprensión de los mecanismos a base de añadir una capa de información adicional proporcionada por una aplicación móvil o de tableta.

La literatura existente respalda la eficacia de la RA en la educación y destaca su capacidad para mejorar la comprensión, el rendimiento académico y la motivación de los estudiantes [11-13]. Además, se ha señalado que la RA puede ser especialmente útil en entornos de aprendizaje de ingeniería, donde la visualización de conceptos espaciales y complejos es fundamental [14]. La combinación de elementos del mundo real con información virtual generada por ordenador a través de la RA ha demostrado ser una estrategia efectiva para potenciar habilidades de comprensión y análisis en los estudiantes [15-18].

1.2 Situación de partida

En la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona de la Universitat Politècnica de Catalunya se imparte la asignatura Teoría de Máquinas y Mecanismos (TMM) durante el cuarto cuatrimestre del grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales. Esta asignatura, que tiene aproximadamente 250 alumnos cada cuatrimestre, es fundamental para que los estudiantes adquieran la habilidad de entender e imaginar el movimiento de los mecanismos que componen las máquinas. La estructura del curso combina clases teóricas y de problemas con sesiones de prácticas en el laboratorio.

Teniendo en cuenta que la mayoría de las máquinas, incluidas las más complejas, se construyen a partir de un pequeño número de mecanismos comunes, como:

engranajes, mecanismos de levas y mecanismos de barras es primordial que el alumnado comprenda cómo funcionan estos mecanismos. Este es un requisito fundamental para los estudiantes de ingeniería mecánica.

Actualmente, en las sesiones de laboratorio es común el uso de maquetas físicas reales para entender el funcionamiento de diversos mecanismos (levas, excéntricas, mecanismos de barras, engranajes) y máquinas diversas (máquina de vapor, máquina de coser, caja de cambio de marchas de un vehículo).

Las maquetas y mecanismos reales están preparados didácticamente para que los estudiantes comprendan su funcionamiento: las carcasas de las máquinas están abiertas para poder ver su interior, se dispone de maquetas a escala de máquinas más grandes, y los mecanismos están diseñados para ser manipulados fácilmente [19].

La observación directa por parte del profesorado confirma que, durante las prácticas, los estudiantes están motivados y participan activamente en la manipulación de las maquetas. Sin embargo, estos materiales no están accesibles para la mayoría de los estudiantes fuera del horario de laboratorio, lo que dificulta la adquisición de competencias de aprendizaje asociadas a las prácticas.

1.3 Planteamientos de mejora/Objetivos

Para mejorar la enseñanza de TMM y poder abordar el desafío del elevado número de alumnos, los autores de este trabajo, profesores de la asignatura, proponen la integración de la Realidad Aumentada (RA) en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Basándonos en experiencias previas que sugieren la idoneidad de la RA en la enseñanza de la Ingeniería Mecánica, se desea desarrollar una aplicación para dispositivos móviles, tipo Android, que añada una capa de información a mecanismos y máquinas utilizados en las prácticas de laboratorio y en algunos de los ejercicios del curso.

El propósito es que, con la aplicación instalada, cuando los usuarios enfoquen a un mecanismo con su dispositivo móvil vean en la pantalla: el mecanismo real junto con anotaciones gráficas relevantes y la simulación en 3D del mismo.

Esta integración no solo facilitará la comprensión, sino que también busca incrementar la motivación de los estudiantes hacia la ingeniería mecánica, mediante un aprendizaje más atractivo con el uso de la RA.

1.4 Evaluación de los objetivos

La implementación de la aplicación de RA deberá estar acompañada de mecanismos de evaluación que involucren tanto al profesorado como al alumnado, con el objetivo de mejorar aspectos técnicos de la implementación y garantizar la satisfacción de la introducción de esta tecnología en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

2. Metodología

En la creación de la aplicación para dispositivos móviles, se ha tenido en cuenta que el proyecto debe abordar diversos desafíos:

- Emplear un enfoque innovador en la enseñanza de asignaturas de ingeniería mecánica utilizando tecnologías de RA.
- Mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje, fomentando una mayor participación y actitud activa del alumnado y una conexión más estrecha con la asignatura.
- Determinar si el uso de la RA puede mejorar el interés de los estudiantes en las asignaturas relacionadas con máquinas y mecanismos.

La implementación de la aplicación móvil para dispositivos Android, TMM_RA, ha permitido añadir una capa de información a diversos mecanismos y máquinas utilizadas en las prácticas de laboratorio de TMM y a una colección de ejercicios de la asignatura.

Esta aplicación, desarrollada con Unity y la librería Vuforia (Figura 1). permite que los estudiantes y usuarios interactúen con modelos 3D de los mecanismos apuntando con la cámara de su dispositivo móvil hacia las máquinas reales o sus representaciones icónicas.

La aplicación proporciona información detallada sobre los elementos que componen cada mecanismo, incluyendo animaciones que muestran su funcionamiento y otros elementos auxiliares que facilitan su análisis.

Relacionado con las prácticas de la asignatura se han creado 6 escenas correspondientes a distintos montajes de elementos de máquinas: máquina de coser, engranaje cilíndrico, leva cardioide, leva triangular, mecanismo de retorno rápido y cambio de marchas.

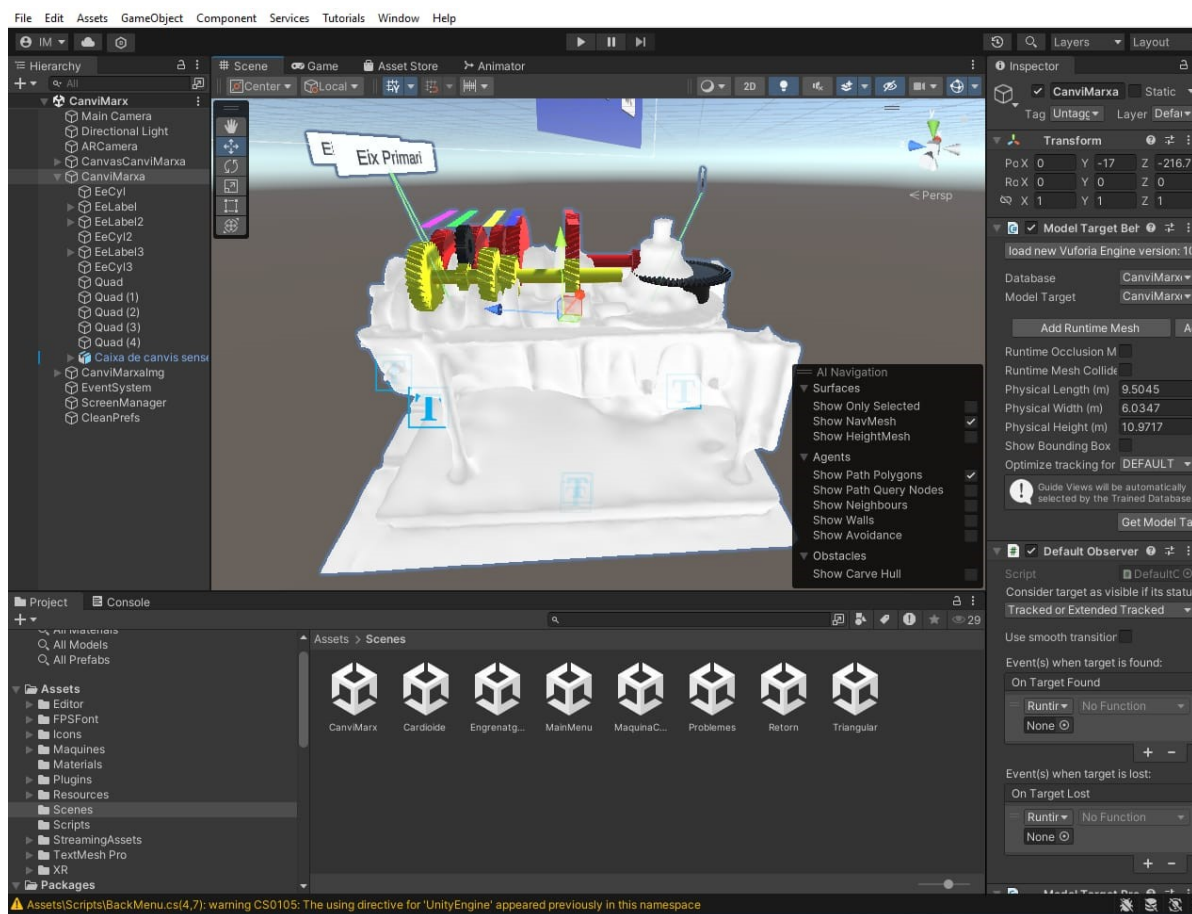


Figura 1. Proyecto Unity de una de las escenas. Fuente: elaboración propia.

Para los ejercicios, se ha añadido la capa de realidad aumentada a 10 problemas que los estudiantes tienen disponibles en el campus virtual de la asignatura.

En cada una de las escenas, y respondiendo a distintas inquietudes pedagógicas, se puede ver el modelo 3D del elemento y algunos complementos: etiquetas, cuestionario, botón para activar o desactivar la animación, enlace a vídeos con información extra...

Los estudiantes pueden utilizar la aplicación tanto en el laboratorio como en clase, así como para revisar las prácticas y/o ejercicios en cualquier lugar y momento. Para lograr esto, se han utilizado dos tipos distintos de objetos (iconos) que habilitan la funcionalidad de la aplicación:

- Imágenes específicas que la aplicación reconoce para activar los modelos 3D (Figura 2a): se utilizan iconos de las máquinas y esquemas de los ejercicios. Estas imágenes están diseñadas para ser fácilmente identificadas por la aplicación, la cual, al reconocerlas, activa los correspondientes modelos tridimensionales en realidad aumentada.
- Modelos CAD que a su vez permiten reconocer los modelos reales (Figura 2b). Además de las imágenes específicas, se emplean modelos CAD de los mecanismos utilizados en las prácticas. Estos modelos CAD están integrados en la aplicación para que, cuando se presente el modelo físico real, la aplicación lo reconozca y añada la capa de realidad aumentada correspondiente.

Así pues, cuando la aplicación reconoce alguna de las imágenes o los propios modelos físicos de las maquetas, añade la capa de Realidad Aumentada (RA) correspondiente (Figura 2c).

En la práctica, cuando el alumnado dispone del modelo físico, la aplicación lo reconoce automáticamente y le añade la capa de RA. Por otro lado, si el alumnado no dispone del mecanismo físico, puede utilizar las imágenes específicas para activar la aplicación y obtener el modelo 3D del mecanismo en realidad aumentada. Esto asegura que los estudiantes siempre tengan acceso a las herramientas y recursos necesarios para su aprendizaje, independientemente de su ubicación o disponibilidad de los equipos físicos.

2.4 Evaluación del proceso

Para evaluar la efectividad de la aplicación, se han utilizado, principalmente, dos métodos:

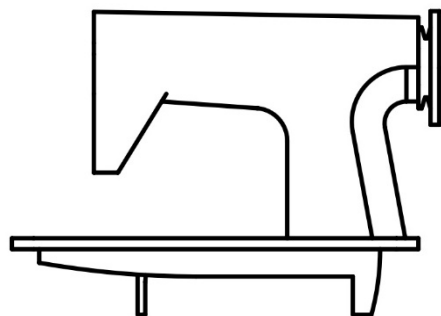


Figura 2a. Icono de la máquina de coser. Fuente: elaboración propia

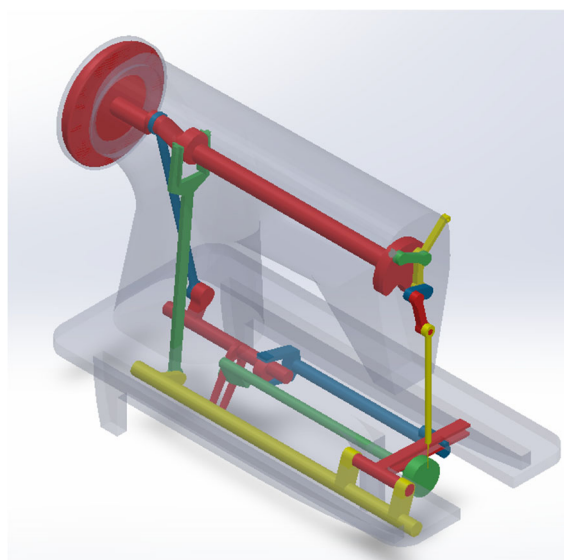


Figura 2b. Modelización 3D de la máquina de coser. Fuente: elaboración propia.

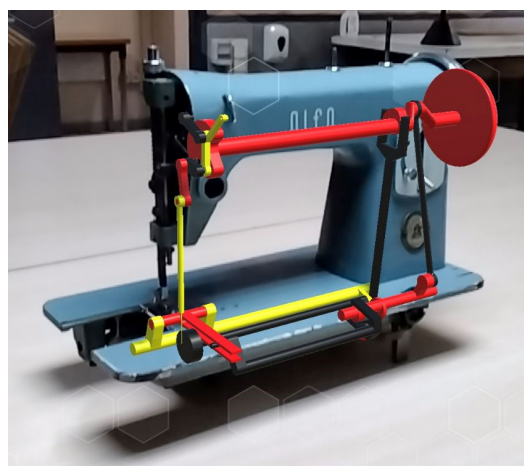


Figura 2c. Visualización de la capa de realidad aumentada en la máquina de coser. Fuente: elaboración propia.

- Reuniones de valoración con el profesorado.
- Encuestas de satisfacción entre el alumnado.

Las reuniones de valoración con los profesores han permitido obtener retroalimentación sobre aspectos técnicos y pedagógicos, mientras que las encuestas a los estudiantes han permitido evaluar la facilidad de uso, la instalación, la ayuda en la comprensión del contenido y la satisfacción general con la aplicación.

La encuesta realizada al alumnado ha incluido las siguientes preguntas que se valoran de 1 a 5:

- Nivel de comodidad utilizando tecnologías de realidad aumentada.
- Facilidad de instalación de la aplicación.
- Facilidad de uso de la aplicación.
- Impacto de la aplicación en la comprensión del contenido.
- Satisfacción global con la aplicación.

Además, se ha dejado espacio para una pregunta abierta con la posibilidad de añadir comentarios sobre aspectos a mejorar.

3. Resultados

Se ha conseguido desarrollar una aplicación de RA (Figura 3) que permite añadir una capa de información adicional a 3 prácticas de laboratorio (6 mecanismos analizados) y a 10 ejercicios de mecanismos de barras. Un ejemplo de cada caso puede verse en las Figuras 4 y 5.

Para evaluar la implementación de la realidad aumentada en la asignatura de TMM, se han realizado reuniones periódicas con el profesorado involucrado en las prácticas. Los profesores han proporcionado retroalimentación sobre diversos aspectos técnicos y pedagógicos de la aplicación. Los resultados de estas reuniones han sido muy positivos y destacan que como resultado de la aplicación de esta tecnología:

- Los profesores han notado una mejora significativa en la comprensión de los estudiantes sobre los mecanismos y su funcionamiento.
- La capacidad de visualizar y manipular modelos 3D en tiempo real facilita la asimilación de conceptos complejos.

Estas consideraciones están respaldadas por la literatura, que destaca la capacidad de la RA para mejorar la comprensión de conceptos complejos y promover la asimilación de información a través de experiencias interactivas [20].



Figura 3. Menú de inicio de la aplicación desarrollada.
Fuente: elaboración propia.

Además, la aplicación ha sido considerada fácil de usar tanto por los estudiantes como por los profesores. La interfaz intuitiva y las funcionalidades claras han permitido una integración fluida en las prácticas de

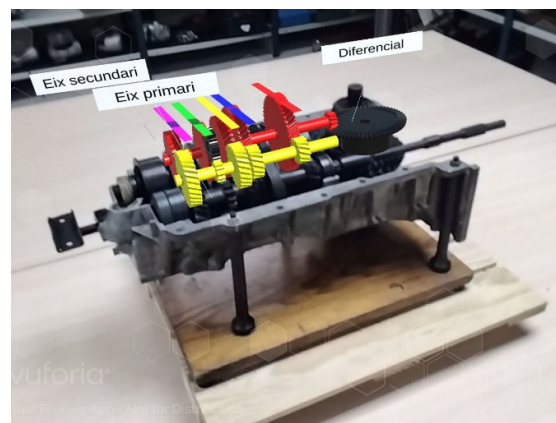


Figura 4. Caja de cambios de marcha de un automóvil con una capa de información de RA. Fuente: elaboración propia.

laboratorio. Estos resultados coinciden con investigaciones previas que han resaltado la importancia de la usabilidad y la intuitividad en las aplicaciones de RA para garantizar una experiencia positiva del usuario [21-22].

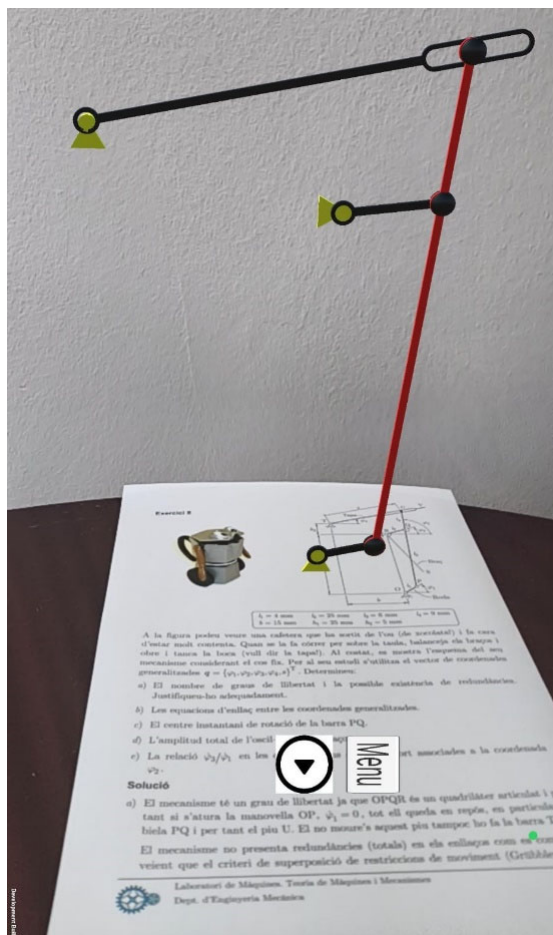


Figura 5. Ejemplo de RA a partir de un esquema.
Fuente: elaboración propia.

En la encuesta que contestaron los alumnos, en términos de instalación, el 57,1% de los estudiantes consideraron que la aplicación era muy fácil de instalar (nivel 5), mientras que el 19% la encontraron moderadamente fácil (nivel 4). Sin embargo, hubo una minoría (14,3%) que la encontró moderadamente difícil (nivel 3).

Respecto a la facilidad de uso, la respuesta fue aún más positiva: el 66,7% de los estudiantes calificaron la aplicación como muy fácil de usar (nivel 5) y el 19% como fácil (nivel 4), con ningún estudiante indicando que fuera difícil de usar.

La mayoría de los estudiantes percibieron que la aplicación les ayudó a comprender mejor el contenido

de la práctica. El 76,2% situaron esta ayuda en los niveles 4 y 5, indicando una percepción positiva del impacto educativo de la aplicación. Solo un estudiante reportó un nivel bajo de ayuda (nivel 2).

La satisfacción general con la aplicación fue alta, con el 100% de los estudiantes calificando su satisfacción en los niveles 4 y 5. Este resultado sugiere que, en general, los estudiantes están muy satisfechos con la herramienta y su contribución al proceso de aprendizaje. Estos resultados están en línea con otras investigaciones que han demostrado el impacto positivo de la RA en la motivación, el interés y el rendimiento académico de los estudiantes [23-24].

A pesar de la alta satisfacción, los estudiantes identificaron varias áreas de mejora. Un número significativo mencionó la necesidad de compatibilidad con dispositivos iOS, lo que ampliaría el acceso a la aplicación. Otros comentarios sugirieron mejorar la detección y el reconocimiento de las máquinas, así como la capacidad de manipular los modelos 3D (por ejemplo, rotar y acercar) para una mejor visualización. También se mencionó la necesidad de mejorar la interfaz de usuario para que sea más intuitiva y así poder utilizar todas sus potencialidades desde el primer uso. Estas sugerencias de los estudiantes resaltan la importancia de la adaptabilidad y la mejora continua en el desarrollo de aplicaciones de RA en entornos educativos [25]. En general, la implementación de la RA en la educación ha demostrado ser una herramienta valiosa para mejorar la comprensión, la interactividad y la experiencia de aprendizaje de los estudiantes en diversos campos académicos [18, 26].

4. Conclusiones

La implementación de la Realidad Aumentada en la asignatura TMM ha demostrado ser una estrategia educativa eficaz, mejorando significativamente la comprensión y visualización de los mecanismos por parte de los estudiantes. La alta satisfacción tanto del profesorado como del alumnado y los datos cuantitativos respaldan el éxito de esta innovadora metodología y ofrece una experiencia educativa más accesible, interactiva y efectiva.

5. Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a los alumnos Eric Antem López e Iván Ramírez Mijarra por su dedicación a la creación de la aplicación de TMM_RA. Sin su colaboración este trabajo no se podría haber realizado.

Los autores desean agradecer el soporte económico recibido por parte de la UPC en su convocatoria de ayudas para la realización de proyectos de mejora e

innovación docente *Galàxia Aprentatge 2023*, sin el que no habría sido posible financiar las becas de los alumnos mencionados.

Agradecemos también, la colaboración de las profesoras Nuria Pelechano y Marta Fairén de la facultad de Informática de la UPC por facilitarnos el contacto con el alumnado de su centro.

6. Referencias

- [1] Gu, L. "Using Physical Models in Improving Low Visualizers' Spatial Visualization Skills". 2017 ASEE Annual Conference & Exposition, Columbus, Ohio, 2017 [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.18260/1-2--29085>
- [2] Radu, I. "Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis". *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(6), pp. 1533-1543, 2014 [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00779-013-0747-y>
- [3] Pàmies-Vilà, R., Fabregat-Sanjuan, A., Puig-Ortiz, J., Jordi, L., Hernandez Fernandez, A. "Impact of a Gamification Learning System on the Academic Performance of Mechanical Engineering Students". *International Journal of Engineering Education*, 5(A), pp. 1434-1442, 2022.
- [4] Alqahtani, A., Daghestani, L., Ibrahim, L. "Techniques used to improve spatial visualization skills of students in engineering graphics course: a survey". *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(3), 2017 [PDF]. Disponible en: <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2017.080315>
- [5] Jordi, L., Puig-Ortiz, J., Cardona, S., Veciana, J. M. "Realitat tangible o realitat virtual? Tecnologia tangible o tecnologia virtual?". VIII CIDUI Congrés Internacional de Docència Universitària i Innovació, 2014.
- [6] Girbacia, F., Butnariu, S. "An Innovative Approach to Teaching Mechanism Using Augmented Reality Technologies". *The 8th International Scientific Conference eLearning and Software for Education*, Bucharest, pp 140–143, 2012.
- [7] Kurdoglu, E., Ünlü, O., Can, F., Koçak, M. "Development of Augmented Reality Application for Teaching Mechanism and Robotics in ROS". 34th Florida Conference on Recent Advances in Robotics, University of West Florida, Pensacola, Florida, pp 1–9, 2021.
- [8] Wang, Y., Ong, S. K., Nee, A. Y. C. "Enhancing mechanisms education through interaction with augmented reality simulation". *Computer Applications in Engineering Education*, 26(5), pp 1552–1564, 2018.
- [9] Reyes, L., Rodríguez-Cruz, A., Cruz, R., Mendiola-Precoma, J., Guevara, J., Yañez, Z. "Diagnóstico del uso e implementación de la realidad aumentada en la escuela de bachilleres de la universidad autónoma de Querétaro". *Tecnología Ciencia y Educación*, pp 69-94, 2022 [PDF]. Disponible en: <https://doi.org/10.51302/tce.2022.2812>
- [10] Almenara, J., Osuna, J. "Ecosistema de aprendizaje con «realidad aumentada»: posibilidades educativas". *Tecnología Ciencia y Educación*, pp 141-154, 2016 [PDF]. Disponible en: <https://doi.org/10.51302/tce.2016.101>
- [11] García, F., Enrique, C. "Neuroeducación en entornos de realidad aumentada". *Temática Psicológica*, 13(1), pp 43-50, 2017 [PDF]. Disponible en: <https://doi.org/10.33539/tematpsicol.2017.n13>
- [12] García, G., Jiménez, C., Marín-Marín, J. "La trascendencia de la realidad aumentada en la motivación estudiantil. una revisión sistemática y meta-análisis". *Alteridad*, 15(1), pp 36-46, 2019 [PDF]. Disponible en: <https://doi.org/10.17163/alt.v15n1.2020.03>
- [13] Fernández-Enríquez, R., Martín, L. "Augmented reality as a didactic resource for teaching mathematics". *Applied Sciences*, 10(7), 2560, 2020 [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app10072560>
- [14] Martín Perico, J. Y. "Realidad aumentada como mediación pedagógica para la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas en facultades de ingeniería". *Virtu@lmente*, 6(1), pp 49-59, 2019 [PDF]. Disponible en: <https://doi.org/10.21158/2357514x.v6.n1.2018.2103>
- [15] Sordo, J. M., Vite, S. "Desarrollo de un entorno de realidad aumentada para la enseñanza del condicionamiento operante en psicología". *Tecnología Ciencia y Educación*, pp 115-136, 2022 [PDF]. Disponible en: <https://doi.org/10.51302/tce.2022.862>
- [16] Guzman, E. "Assessment of the impact of using augmented reality to support learning". *INNODOCT 2020* [PDF]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4995/INN2020.2020.11813>

- [17] Mendoza, R., Cabarcas, A., Puello-Beltran, J., Fabregat, R., Navarro, S. "Heritage education experience supported in augmented reality". *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (99), pp 52-62, 2020 [PDF]. Disponible en: <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20200582>
- [18] Dieck, M., Jung, T. "A theoretical model of mobile augmented reality acceptance in urban heritage tourism". *Current Issues in Tourism*, 21(2), pp 154-174 2015 [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/13683500.2015.1070801>
- [19] Catala, P., Pàmies-Vilà, R., Cardona, S., Jordi, L., Clos, D. "Catalogació de maquetes per a la docència de Teoria de Màquines i Mecanismes". Barcelona. ISBN 84-695-8308-5. 2013.
- [20] Serio, Á., Ibáñez, M., Kloos, C. "Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course". *Computers & Education*, 68, pp 586-596, 2013 [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.002>
- [21] Huang, K., Ball, C., Francis, J., Ratan, R., Boumis, J., Fordham, J. "Augmented versus virtual reality in education: an exploratory study examining science knowledge retention when using augmented reality/virtual reality mobile applications". *Cyberpsychology Behavior and Social Networking*, 22(2), pp 105-110, 2019 [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1089/cyber.2018.0150>
- [22] Munzer, B., Khan, M., Shipman, B., Mahajan, P. "Augmented reality in emergency medicine: a scoping review". *Journal of Medical Internet Research*, 21(4), e12368, 2019 [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.2196/12368>
- [23] Wu, H., Lee, S., Chang, H., Liang, J. "Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education". *Computers & Education*, 62, pp 41-49, 2013 [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024>
- [24] Yuen, S., Yaoyuneyong, G., Johnson, E. "Augmented reality: an overview and five directions for AR in education". *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 4(1), 2011 [PDF]. Disponible en: <https://doi.org/10.18785/jetde.0401.10>
- [25] Jaybhaye, S. "TeachAR-augmented reality-based education application". *Journal of Physics Conference Series*, 2601(1), 012012, 2023 [PDF]. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2601/1/012012>
- [26] Anireddy, S., Mantri, A., Kaur, D. "Designing a framework to improve the learning experience for middle school students in geographical education". *ECS Transactions*, 107(1), pp 6157-6161, 2022 [PDF]. Disponible en: <https://doi.org/10.1149/10701.6157ecst>