

# La realidad aumentada y su efecto en la habilidad espacial de estudiantes de ingeniería mecánica

## Augmented reality and its effect on the spatial ability of mechanical engineering students

Yasser Hipolito Yarin Achachagua  
Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú  
yyarin@uni.edu.pe

Hugo Eliseo Gamarra Chinchay  
Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú  
hgamarra@uni.edu.pe

### Resumen

Este trabajo de investigación se enfocó en el desarrollo de una experiencia de aprendizaje basado en el uso de la realidad aumentada con el objetivo de mejorar la habilidad espacial, dentro del marco de formación del futuro ingeniero mecánico. Se conformaron dos grupos, donde el primer grupo, el grupo experimental participo de un taller de dibujo mecánico donde se visualizó contenido en realidad aumentada, mientras que, el segundo grupo, el grupo control desarrollo los mismos temas de manera tradicional. Se utilizo una prueba para medir la habilidad espacial en los participantes antes y después de la aplicación del taller. Los resultados obtenidos en el estudio permitieron concluir que el taller de dibujo mecánico basado en el uso de la realidad aumentada influye significativamente en la habilidad espacial de los estudiantes de ingeniería mecánica, debido a que el análisis estadístico permite identificar una diferencia significativa entre los grupos conformados, de acuerdo con resultados obtenidos por medio de la prueba U de Mann Whitney.

**Palabras clave:** Realidad aumentada, habilidad espacial, estudiantes de ingeniería, ingeniería mecánica.

### Abstract

This research work focused on the development of a learning experience based on the use of augmented reality with the aim of improving spatial ability, within the training framework of the future mechanical engineer. Two groups were formed, where the first group, the experimental group, participated in a mechanical drawing workshop where content was displayed in augmented reality, while, in the second group, the control group developed the same topics in a traditional way. A test was used to measure the spatial ability of the participants before and after the application of the workshop. The results obtained in the study allowed us to conclude that the mechanical drawing workshop based on the use of augmented reality significantly influences the spatial ability of mechanical engineering students, because the statistical analysis allows us to identify a significant difference between the groups formed, according to results obtained by means of the Mann Whitney U test.

**Key words:** Augmented reality, spatial ability, engineering students, mechanical engineering.

## 1. Introducción

En la última década, los avances tecnológicos han aumentado a un ritmo exponencial logrando que cada día se vayan integrando a nuestros estilos de vida. Esta revolución digital nos ha transformado en una sociedad de la información y el conocimiento, donde los dispositivos móviles representan una puerta de entrada a un mundo conectado que nos permite compartir información, experiencias y entretenimiento, lo que ha causado un cambio transcendental en la forma como nos relacionamos y comunicamos.

La actual generación de estudiantes universitarios creció rodeada por tecnologías digitales, las que han influido en su formación de intereses y destrezas particulares. Estos aprenden de distintas maneras debido a la cantidad de fuentes y medios a las que tienen acceso, además poseen una predisposición para utilizar tecnologías como parte de su proceso de aprendizaje (Ruiz-Blanco et al., 2016). Esta generación pasa la mayor parte del día utilizando los teléfonos inteligentes, los que, por su capacidad de navegar en la internet, han cambiado las costumbres, hábitos, formas de comunicación y estilo de vida de las personas (Ramírez-Montoya & García-Peñalvo, 2017).

Con la aparición de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en un mundo sumergido en la internet, el proceso educativo se ha redireccionado hacia un aprendizaje activo que va de la mano con la innovación (Revelo-Rosero et al., 2018). Las TIC han permitido que los procesos de enseñanza y aprendizaje incorporen diferentes recursos tecnológicos en las aulas de clases con el objetivo de agilizar el aprendizaje activo. Esta nueva generación de estudiantes tienen una manera distinta de aprender, por lo tanto las TIC representan una oportunidad de desarrollar el contenido del curso de una manera sugerente e innovadora (Hinojo-Lucena et al., 2019).

El modelo de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, más conocido como STEM, busca que los estudiantes integren procesos y conceptos del mundo real mediante el desarrollo del pensamiento crítico, el análisis y el trabajo en equipo (Oliveros-Ruiz, 2021). En este modelo, la inteligencia espacial es fundamental para que los estudiantes desarrollen la capacidad de transferir datos numéricos y proyecciones bidimensionales a objetos tridimensionales (Del Cerro-Velázquez & Morales-Méndez, 2017). El desarrollo de esta habilidad tiene numerosas aplicaciones, como la concepción y construcción de modelos espaciales, el análisis de objetos geométricos, la interpretación de diagramas, la identificación de funciones entre otros (Del Cerro-Velázquez & Lozano-Rivas, 2019). Aunque la adopción de nuevas tecnologías en el modelo STEM aun enfrenta algunas dificultades, como docentes con escasos conocimientos y habilidades (Barroso-Osuna et al., 2019), a la fecha existen varias aplicaciones interactivas e innovadoras que utilizan la realidad aumentada y que han demostrado un gran potencial en diferentes campos de aprendizaje y específicamente en la educación STEM (Pellas & Kazanidis, 2019).

La Realidad Aumentada (RA) representa la combinación de un contenido digital y un contenido físico por medio de dispositivos tecnológicos dando como resultado una nueva realidad donde se interpone la parte digital sobre la parte física. Desde el punto de vista de la enseñanza, la RA se posiciona como una herramienta didáctica en el proceso de aprendizaje con un aporte eficaz en el área educativa (Rodríguez-Cardoso et al.,

2020). Aunque algunas veces se confunde a la RA con la Realidad Virtual (RV), existe una diferencia fundamental entre ambas tecnologías y esta radica en que la RV sustituye en su totalidad a la realidad (Gómez-García et al., 2019).

Existen técnicas pedagógicas relacionadas con RA que se han desarrollado en varios campos educativos tales como escuela primaria, escuela secundaria, formación médica, formación industrial y formación en ingeniería (Prit-Kaur et al., 2018). Estudios realizados en estudiantes universitarios, ha demostrado que el uso de la RA promueve una mejora motivacional en estudiantes de diferentes disciplinas (Cabero-Almenara & Roig-Vila, 2019), permitiendo alcanzar interactividad y retroalimentación instantánea para que los estudiantes puedan ejecutar experimentos y aprender de forma crítica en tiempo real (Chang & Hwang, 2018).

De acuerdo con Bishop (1978), existen tres etapas en las que un individuo desarrolla la capacidad de visualización espacial. En una etapa inicial, se alcanza la capacidad de visualización espacial topológica, donde se logra comprender la relación entre diferentes objetos en el espacio y su relación con otros objetos. En la segunda etapa de desarrollo, adquiere la capacidad de representación proyectiva, donde pueden concebir cómo se verá un objeto desde diferentes perspectivas. En la etapa final se alcanza la capacidad de visualización espacial, donde se combinan habilidades de proyección espacial en relación con las distancias. De una manera más simplificada, la habilidad espacial ha sido definida como la capacidad para rotar, girar, manipular o invertir de forma mental figuras que han sido representadas gráficamente, donde se identifican diferencias en los aspectos cognitivos perceptivos y que se encuentra influenciada por factores genéticos y sexuales (McGee, 1979).

Para Gardner (1983), la inteligencia espacial está considerada como una de las ocho inteligencias mencionadas en su teoría de las inteligencias múltiples, este tipo de inteligencia implica tener la capacidad de recrear objetos mentalmente y realizar transformaciones o modificaciones de estos, aun con la ausencia de estímulos físicos. De manera análoga Hegarty (2010), indica que el pensamiento espacial está relacionada con el manejo mental de formas y posición de objetos en el espacio, de igual manera con los procesos espaciales que involucra la modificación de objetos, cambio de posición de objetos y otras modificaciones espaciales. En los últimos años se ha profundizado en diversos modelos factoriales relacionados con la habilidad espacial, entre los factores usualmente identificados como aspectos independientes de la capacidad espacial podemos mencionar a la visualización, la relación espacial, la orientación espacial, la rotación mental y el corte mental (Shawky et al., 2020). Estas cinco habilidades son maleables, siendo posible reforzarlas mediante el uso de herramientas o aplicaciones multisensoriales que estimulan y mejoran estas habilidades (Del Cerro-Velázquez & Morales-Méndez, 2021a).

La RA fue utilizada en la educación por primera vez en la industria de la aviación a fines del siglo XX, logrando sentar las bases para la transformación de la educación superior (Wang et al., 2018). Como consecuencia de estos avances tecnológicos, ha cambiado la naturaleza de los profesionales en ingeniería y los ha enfrentado a una gran variedad de problemas, donde la habilidad espacial ha representado un papel importante, que ayuda a los ingenieros y estudiantes de ingeniería en la solución de

problemas complejos (Ramey & Uttal, 2017), ante esta situación la RA ha sido considerada como uno de los mejores enfoques de enseñanza para hacer frente a esta necesidad (Huerta et al., 2019). De acuerdo con estudios recientes, la integración de la RA en el aula favorece un enfoque constructivista del aprendizaje, permite a los docentes proponer experiencias tangibles y proactivas en el aula donde los estudiantes interactúan y manipulan el objeto de aprendizaje (Del Cerro-Velázquez & Morales-Méndez, 2021a). Por lo expuesto, este trabajo presenta una experiencia educativa en la que se desarrolló estrategias de enseñanza y aprendizaje mediante la aplicación de la RA en los temas del curso de dibujo mecánico, esto como parte de la formación básica y el desarrollo de la habilidad espacial de futuros ingenieros mecánicos.

## 2. Método

### 2.1 Diseño

El diseño de la investigación fue cuasi experimental, este diseño se basa en el uso de la variable independiente de manera intencionada para medir su influencia sobre la variable dependiente (Hernández et al., 2014). Para esta investigación se utilizaron dos grupos sin cualquier tipo de sesgo, un grupo control y un grupo experimental. El primer grupo estuvo conformado por 50 estudiantes y el segundo grupo estuvo conformado por 48 estudiantes, un grupo experimental y un grupo control respectivamente (Ver Tabla 1). El grupo experimental participó en un taller del curso de dibujo mecánico que comprendió los temas de representación de uniones roscadas, representación de uniones soldadas y representación de tuberías, los que fueron desarrollados en tres etapas conformadas por 3 sesiones cada una.

Tabla 1.  
Población de estudio

Grupo	n	Pretest	Estimulo	Posttest
Experimental	50	O1	X	O3
Control	48	O2	--	O4

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2 Muestra

El muestreo fue no probabilístico o realizado por conveniencia, un muestreo no probabilístico sólo se limita a grupos definidos (Otzen & Manterola, 2017). El estudio se realizó con 98 estudiantes, con edades comprendidas entre los 18 y 22 años, de la especialidad de ingeniería mecánica de una institución educativa universitaria. Los conocimientos previos vinculados a la habilidad espacial están nivelados debido a que los participantes han aprobado el mismo examen de admisión, requisito que es exigido por la universidad para alcanzar una vacante como estudiante, además pertenecen al mismo nivel académico, cursos y año de estudio.

### 2.3 Instrumento

Se aplicó un instrumento de medición con el objetivo de describir inicialmente el estado de la variable en estudio, en este caso la variable evaluada fue la habilidad espacial de los estudiantes que formaron parte de ambos grupos, el cuestionario propuesto respondió a los criterios de validez y confiabilidad. El modelo de Kuder-Richardson (KR20) se utilizó en la prueba de confiabilidad del instrumento, el coeficiente obtenido fue de 0.805, valor considerado como aceptable para el tipo de instrumento utilizado. También se sometió el cuestionario a un proceso de validación de contenido por juicio de expertos, compuesto por varios doctores de diferentes universidades con especialidades relacionadas con la educación.

El cuestionario fue diseñado para agrupar los resultados en cuatro niveles dependiendo del resultado obtenido por cada estudiante, lo que permitió desarrollar el análisis descriptivo, los niveles fueron de inicio, proceso, esperado y satisfactorio. La escala de medición fue nominal dicotómica, la que sirvió de base para establecer el análisis estadístico.

Las preguntas fueron de opción múltiple y se encuentran relacionadas con los temas desarrollados en el taller (Ver Figura 1). El instrumento se enfocó en tres dimensiones de la habilidad espacial, seleccionadas por su relación directa con las necesidades de formación de los estudiantes en ingeniería, las dimensiones evaluadas fueron la visualización espacial con 20 ítems, la rotación mental con 10 ítems y el corte mental con 10 ítems.

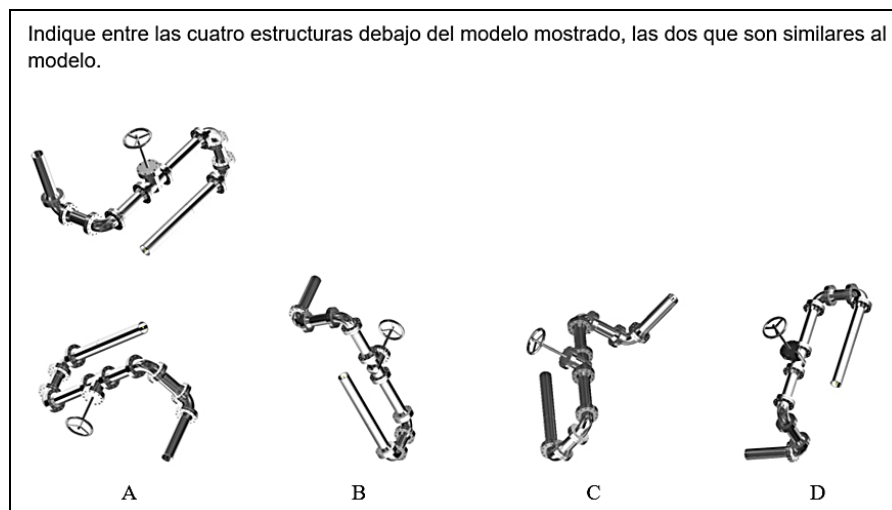


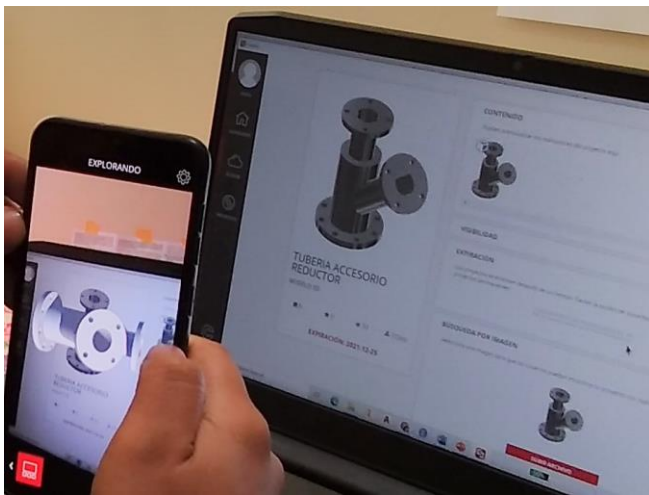
Figura 1. Pregunta que evalúa la dimensión de rotación mental.

### 2.4 Procedimiento

Durante el desarrollo de cada sesión fueron integrados modelos tridimensionales visualizados en RA, los que fueron desarrollados utilizando un programa de diseño asistido por computadora, y que estuvieron directamente relacionados con los temas del curso y que involucran diferente grado de complejidad. En el caso del grupo control, se

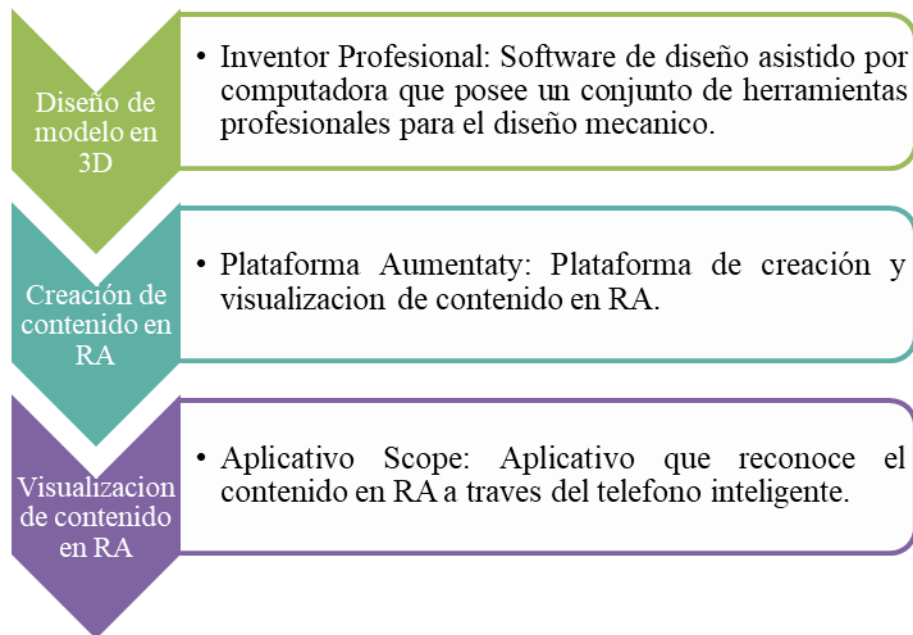
desarrollaron los mismos temas del curso y en la misma cantidad de tiempo, pero no fue incluido contenido en RA.

La disminución del tamaño y aumento de la capacidad de procesamiento de los dispositivos móviles ha hecho posible su implementación en este trabajo de investigación, permitiendo el uso de aplicaciones de realidad aumentada diseñadas específicamente para teléfonos inteligentes con características comunes (Ver Figura 2). Utilizar aplicaciones de teléfonos inteligentes implica tener en cuenta algunos requisitos, como una pantalla de buena resolución para visualizar el escenario aumentado, también se necesita de sensores de rastreo que proporcionen información sobre la posición y orientación de la vista del usuario, componentes que usualmente se ubican en las cámaras. Para el desarrollo de este taller de dibujo mecánico basado en el uso de la realidad aumentada, los estudiantes del grupo experimental contaron con un teléfono inteligente de gama media o gama alta.



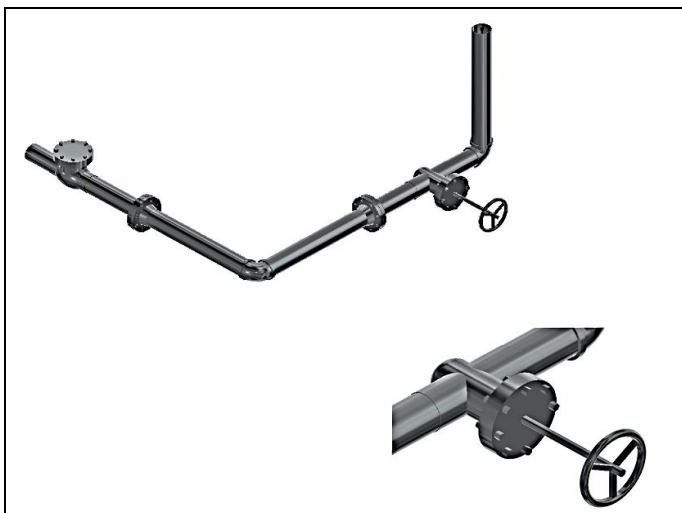
*Figura 2. Rastreo de contenido en RA.*

Durante la realización del taller, los estudiantes y el profesor participaron de manera síncrona, es decir interactúan en tiempo real, desarrollando todas las sesiones en línea. Los materiales utilizados fueron presentaciones donde se utilizaron imágenes prediseñadas con el software Inventor Profesional, conocido como un software de modelado en tres dimensiones, además se utilizó la plataforma Aumentaty para la creación y visualización de contenido en RA, los que fueron visualizados con la ayuda del aplicativo Scope que sirve para detectar y visualizar cualquier contenido en realidad aumentada desde su teléfono inteligente (Ver Figura 3).



*Figura 3. Proceso para la creación de contenido en RA.*

Los modelos en 3D desarrollados para el taller de dibujo mecánico estuvieron directamente relacionados con los temas de representación de uniones roscadas, representación de uniones soldadas y representación de tuberías, en los modelos desarrollados no se aplicaron colores y todas las imágenes obtenidas de ellos fueron representaciones tridimensionales (Ver Figura 4).



*Figura 4. Modelo 3D para la representación de tuberías.*

Las sesiones de aprendizaje estuvieron diseñadas para seguir una secuencia didáctica, se inició cada sesión con una recuperación de saberes previos y el anuncio del logro de aprendizaje, seguidamente se desarrolló el tema programado donde los estudiantes mantuvieron una participación activa haciendo uso del aplicativo *Scope* con la ayuda de sus teléfonos inteligentes, luego se pasó a una etapa de reflexión donde se realizó las

observaciones y la retroalimentación necesaria, finalmente los estudiantes aplicaron los conocimientos adquiridos sobre el tema desarrollado en una actividad propuesta por el docente a cargo de la sesión.

### 2.5 Análisis de datos

Los resultados obtenidos se procesaron y analizaron con la ayuda del software Excel, mediante la interpretación de los resultados se pudo realizar un análisis descriptivo, de manera análoga se utilizó el software Statistical Package for the Social Sciences de la versión 25.0 para realizar un análisis estadístico inferencial con la prueba de la U de Mann-Whitney, conocida como una prueba no paramétrica aplicada a dos muestras independientes.

## 3. Resultados

Los resultados del pretest que mide la habilidad espacial (Ver Tabla 2), como parte de la medición inicial realizada al grupo experimental y grupo control, evidencia que la mayoría de los estudiantes de cada grupo alcanzaron un nivel de proceso y un pequeño grupo alcanzó el nivel de inicio. Además, es importante mencionar que, ninguno de los estudiantes participante de los grupos control y experimental alcanzó el nivel esperado o el nivel satisfactorio.

Tabla 2.  
Resultados del pretest

Grupo	Nivel			
	Inicio	Proceso	Esperado	Satisfactorio
Control	12%	88%	0	0
Experimental	16%	84%	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados evidencian que luego del postest (Ver Figura 5), ningún estudiante del grupo experimental o control alcanzó un nivel de inicio, solo el grupo experimental alcanzó el nivel satisfactorio con el 8% de sus integrantes. El 64% de los integrantes del grupo experimental alcanzó el nivel esperado, mientras que solo el 8% del grupo control alcanzó dicho nivel.



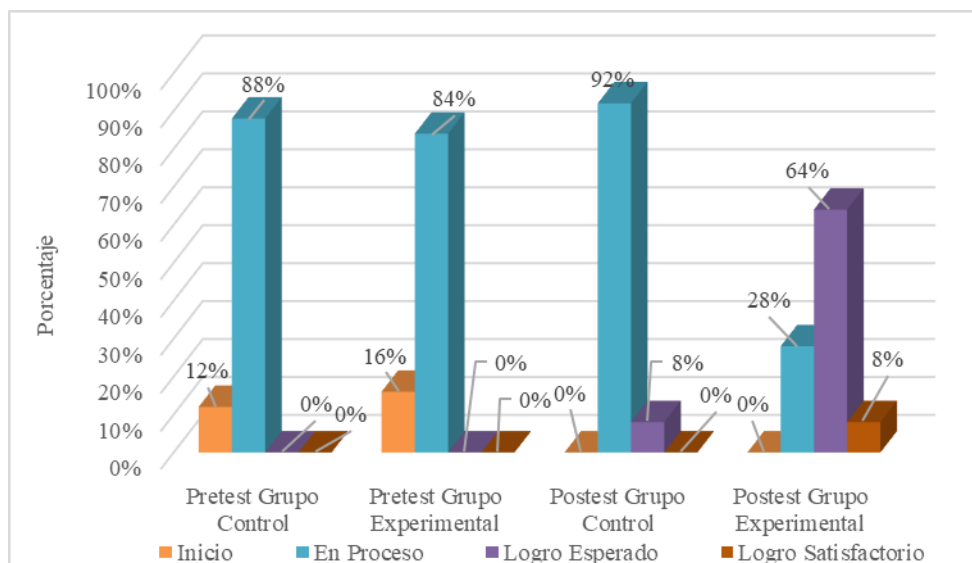


Figura 5. Resultados del pretest y postest.

Se realizó un análisis de normalidad, con el objetivo de determinar cuánto difiere la distribución de los datos, obtenidos del pretest y el postest, respecto a lo esperado si estos procediesen de una distribución normal. Para el caso del pretest, con los resultados obtenidos de la prueba de Shapiro-Wilk se obtuvo que el  $p\text{-valor}=0.045 < 0.05$  (nivel de significancia), por lo tanto, se pudo afirmar que los resultados del pretest no se aproximan a la distribución normal. Para el caso del postest, con los resultados obtenidos de la prueba de Shapiro-Wilk se obtuvo que el  $p\text{-valor}=0.020 < 0.05$ , por lo tanto, se pudo afirmar que los resultados del postest no se aproximan a la distribución normal.

Luego del análisis con la prueba de la U de Mann-Whitney de los datos obtenidos en el postest, se obtuvo un valor Z de  $-5.380 \leq -1.96$  con  $p\text{-valor}=0.001 < 0.05$  (Ver Tabla 3), lo que permitió afirmar que existe una diferencia altamente significativa entre el grupo control y el grupo experimental luego de la implementación del taller basado en el uso de la RA.

Tabla 3.

Resultados de la prueba U de Mann-Whitney

Grupo de Estudiantes	Rango promedio	Suma de rangos
<b>Experimental</b>	36.56	914.00
<b>Control</b>	14.44	361.00
<b>U de Mann-Whitney</b>		36.000
<b>Z</b>		-5.380
<b>Sig. Asintótica (bilateral)</b>		< 0.001

Fuente: Elaboración propia.

#### 4. Discusión y conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en el pretest y postest, y luego de realizar un análisis descriptivo e inferencial es posible apreciar una diferencia significativa entre el grupo control y el grupo experimental. En consecuencia, la RA se representa como una herramienta muy útil para el proceso de enseñanza, porque permite una interacción con los estudiantes, capta su atención y logra ampliar sus conocimientos. Los resultados alcanzados por el grupo experimental en comparación con el grupo control evidencian que el taller de dibujo mecánico basado en el uso de la RA es efectivo para mejorar la habilidad espacial en estudiantes de ingeniería mecánica. Además, el uso de la RA representa una oportunidad atractiva para el diseño de entornos de aprendizaje que atraen tanto a los estudiantes de ingeniería como a los investigadores en educación.

Tomando como referencia las teorías sobre la habilidad espacial mencionadas en este trabajo, se puede concluir que el desarrollo de la habilidad espacial involucra el conocimiento básico de formas y posiciones de objetos tridimensionales y bidimensionales, así como la capacidad de encontrar la relación entre objetos y la manipulación de información visible. Por medio de la RA los usuarios pueden desarrollar su habilidad espacial, esto implica el análisis de la estructura de modelos 3D e interpretar formas geométricas básicas cuyo ensamble se convierte en un modelo complejo 3D (Guntur et al., 2020).

De acuerdo con la teoría constructivista del aprendizaje, el estudiante construye conocimientos mediante un aprendizaje activo, entrando en contacto con objetos y elementos del entorno (Rodríguez-Valenzuela, 2020). En ese sentido, la RA ha demostrado ser una herramienta útil para que los estudiantes experimenten con objetos en relación con el mundo real. Además, de acuerdo con el constructivismo, la RA puede ser utilizada en diferentes campos para inspirar el aprendizaje y fomentar la creatividad.

En cada actividad de nuestra vida diaria interactuamos con objetos por medio de nuestras manos, por lo que manipular objetos virtuales a mano y con las herramientas de retroalimentación adecuadas los estudiantes pueden interactuar intuitivamente con objetos virtuales. Los dispositivos móviles se han convertido en la principal herramienta para acceder a la información en diferentes formatos y junto a la tecnología de RA han logrado formar un binomio que facilita el aprendizaje y garantiza un proceso educativo (Del Cerro-Velázquez & Morales-Méndez, 2021b).

Aunque la RA ha demostrado ser una herramienta con gran potencial en las actividades educativas, durante el desarrollo de este trabajo se encontraron dificultades para que los estudiantes puedan adquirir dispositivos de alta gama que permitan aprovechar todos sus beneficios. Por lo tanto, se requiere de la participación de las instituciones

educativas, quienes deben disponer los recursos para equipar las aulas de clases con los dispositivos tecnológicos necesarios.

Para futuros trabajos, sería recomendable fomentar su uso en temas educativos mediante equipos de investigación multidisciplinarios que puedan proponer soluciones realistas de contenidos y entornos más relacionados con las competencias que deben alcanzar en su formación los estudiantes de ingeniería. Por su parte, los educadores y los diseñadores de aplicativos en RA deberían trabajar en conjunto para desarrollar interfaces y tecnologías hardware que se adapten fácilmente a las necesidades en el aula de clases y que faciliten su uso en las actividades de aprendizaje de acuerdo con la especialidad en la que se forman los estudiantes.

Presentación del artículo: 2 de febrero de 2022

Fecha de aprobación: 6 de julio de 2022

Fecha de publicación: 31 de julio de 2022

Yarin Achachagua, Y. H., y Gamarra Chinchay, H. E. (2022). La realidad aumentada y su efecto en la habilidad espacial de estudiantes de ingeniería mecánica. *Revista de educación a distancia*, 22(70). <http://dx.doi.org/10.6018/red.509931>

## Financiación

Este trabajo no ha recibido ninguna subvención específica de los organismos de financiación en los sectores públicos, comerciales o sin fines de lucro.

## Referencias

- Barroso-Osuna, J., Gutiérrez-Castillo, J. J., Llorente-Cejudo, M. C., & Valencia-Ortiz, R. (2019). Difficulties in the incorporation of augmented reality in university education: Visions from the experts. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 8(2), 126–141. <https://doi.org/10.7821/NAER.2019.7.409>
- Bishop, J. (1978). Developing Students' Spatial Ability. *The Science Teacher*, 45(9), 20–23.
- Cabero-Almenara, J., & Roig-Vila, R. (2019). The Motivation of Technological Scenarios in Augmented Reality (AR): Results of Different Experiments. *Applied Sciences*, 9(14), 1–16. <https://doi.org/10.3390/APP9142907>
- Chang, S. C., & Hwang, G. J. (2018). Impacts of an augmented reality-based flipped learning guiding approach on students' scientific project performance and perceptions. *Computers and Education*, 125, 226–239. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.007>
- Del Cerro-Velázquez, F., & Lozano-Rivas, F. (2019). Proyecto Técnico Ecourbano apoyado en las TIC para el aprendizaje STEM (Dibujo Técnico) y la consolidación

- de los ODS en el aula. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 19(60).  
<https://doi.org/10.6018/RED/60/04>
- Del Cerro-Velázquez, F., & Morales-Méndez, G. (2017). Realidad Aumentada como herramienta de mejora de la inteligencia espacial en estudiantes de educación secundaria. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 54.  
<https://doi.org/10.6018/red/54/5>
- Del Cerro-Velázquez, F., & Morales-Méndez, G. (2021a). Application in Augmented Reality for Learning Mathematical Functions: A Study for the Development of Spatial Intelligence in Secondary Education Students. *Mathematics*, 9(4), 369.  
<https://doi.org/10.3390/math9040369>
- Del Cerro-Velázquez, F., & Morales-Méndez, G. (2021b). Systematic review of the development of spatial intelligence through augmented reality in stem knowledge areas. *Mathematics*, 9(23). <https://doi.org/10.3390/MATH9233067>
- Gardner, H. (1986). *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. Basic Books.
- Gómez-García, G., Rodríguez-Jiménez, C., & Marín-Marín, J. A. (2019). La trascendencia de la Realidad Aumentada en la motivación estudiantil. Una revisión sistemática y meta-análisis. *Alteridad*, 15(1), 36–46.  
<https://doi.org/10.17163/ALT.V15N1.2020.03>
- Guntur, M. I. S., Setyaningrum, W., Retnawati, H., & Marsigit. (2020). Can augmented reality improve problem-solving and spatial skill? *Journal of Physics: Conference Series*, 1581(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1581/1/012063>
- Hegarty, M. (2010). Components of Spatial Intelligence. *Psychology of Learning and Motivation - Advances in Research and Theory*, 52(C), 265–297.  
[https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(10\)52007-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(10)52007-3)
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Hinojo-Lucena, F. J., Aznar-Díaz, I., Cáceres-Reche, M. P., & Romero-Rodríguez, J. M. (2019). Opinión de futuros equipos docentes de educación primaria sobre la implementación del mobile learning en el aula. *Revista Electronica Educare*, 23(3), 1–17. <https://doi.org/10.15359/ree.23-3.14>
- Huerta, O., Kus, A., Unver, E., Arslan, R., Dawood, M., Kofoğlu, M., & Ivanov, V. (2019). A design-based approach to enhancing technical drawing skills in design and engineering education using VR and AR tools. *Proceedings of the 14th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications*, 3, 306–313. <https://doi.org/10.5220/0007566003060313>
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86(5), 889–918. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.5.889>
- Oliveros-Ruiz, M. A. (2021). Panorama of teaching in higher education institutions under science, technology, engineering and mathematics (STEM) programs. *Revista Científica*, 40(40), 2–12. <https://doi.org/10.14483/23448350.16764>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a

- Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Pellas, N., & Kazanidis, I. (2019). Developing and Assessing Augmented Reality Applications for Mathematics with Trainee Instructional Media Designers: An Exploratory Study on User Experience. *Journal of Universal Computer Science*, 25(5), 489–514. <https://doi.org/10.3217/jucs-025-05-0489>
- Prit-Kaur, D., Mantri, A., & Horan, B. (2018). A Framework Utilizing Augmented Reality to Enhance the Teaching–Learning Experience of Linear Control Systems. *IETE Journal of Research*, 67(2), 155–164. <https://doi.org/10.1080/03772063.2018.1532822>
- Ramey, K. E., & Uttal, D. H. (2017). Making Sense of Space: Distributed Spatial Sensemaking in a Middle School Summer Engineering Camp. *Journal of the Learning Sciences*, 26(2), 277–319. <https://doi.org/10.1080/10508406.2016.1277226>
- Ramírez-Montoya, M. S., & García-Peñalvo, F. J. (2017). La integración efectiva del dispositivo móvil en la educación y en el aprendizaje. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 20(2), 29–47. <https://doi.org/10.5944/RIED.20.2.18884>
- Revelo-Rosero, J. E., Revuelta-Dominguez, F. I., & González-Pérez, A. (2018). Modelo de integración de la competencia digital del docente universitario para su desarrollo profesional en la enseñanza de la matemática – Universidad Tecnológica Equinoccial de Ecuador. *EDMETIC*, 7(1), 196–224. <https://doi.org/10.21071/edmetic.v7i1.6910>
- Rodríguez-Cardoso, Ó. I., Ballesteros-Ballesteros, V. A., & Lozano-Forero, S. (2020). Tecnologías digitales para la innovación en educación: una revisión teórica de procesos de aprendizaje mediados por dispositivos móviles. *Pensamiento y Acción*, 28, 83–103. <https://doi.org/10.19053/01201190.N28.2020.11192>
- Rodríguez-Valenzuela, P. (2020). La realidad aumentada como experiencia de enseñanza-aprendizaje constructivista. *Tecnología & Diseño*, 9(13), 37–43. <https://revistatd.azc.uam.mx/index.php/rtd/article/view/74>
- Ruiz-Blanco, S., Ruiz-San Miguel, F. J., & Galindo-Arranz, F. (2016). Los millennials universitarios y su interacción con el social mobile. *Fonseca, Journal of Communication*, 12(12), 97–116. <https://doi.org/10.14201/FJC20161297116>
- Shawky, A., Elbiblawy, E., & Maresch, G. (2020). Spatial ability differences between students with a math learning disability and their other normal colleagues. *Journal of Humanities and Applied Social Sciences*, 3(3), 182–198. <https://doi.org/10.1108/JHASS-01-2020-0016>
- Wang, M., Callaghan, V., Bernhardt, J., White, K., & Peña Rios, A. (2018). Augmented reality in education and training: pedagogical approaches and illustrative case studies. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 9(5), 1391–1402. <https://doi.org/10.1007/S12652-017-0547-8>