

Impact of Augmented Reality on the Understanding of Isometric Views in University Students

Abstract– Augmented Reality (AR) is an innovative tool in education, facilitating the teaching of spatial concepts. This study evaluates its impact on the understanding of isometric views in undergraduate architecture and engineering students, comparing its effectiveness with traditional methods. A quasi-experimental study was conducted with two groups: an experimental group, using AR to visualise three-dimensional models, and a control group, using conventional teaching. Pre- and post-tests of spatial skills using the Mental Rotation Test (MRT) and technical design tests were applied. Student satisfaction, exercise resolution time and number of errors were also measured. The results show that the experimental group improved significantly in spatial understanding and accuracy in isometric view design. In the MRT Post-test, students who used AR scored higher, indicating better development of spatial skills. They also achieved greater accuracy and efficiency in the representation of isometric views, reducing errors and resolution times. Satisfaction was notably higher in those who used AR. These findings confirm that AR is effective in teaching isometric views, optimising understanding and learning. Its integration into technical and STEM education would enhance the acquisition of spatial skills. We recommend its incorporation in educational programmes and future research on its application in other areas of knowledge.

Keywords– Augmented Reality, Isometric Views, Spatial Skills, Technical Education, Engineering and Architecture.

Impacto de la Realidad Aumentada en la Comprensión de Vistas Isométricas en Estudiantes Universitarios

Oscar Efraín Capuñay-Uceda¹, Wilder Enrique Chafloque Castro¹, Martín Fernando Díaz García², Denis Jesús Obando Fernández³, Francisco Manuel Hilario Falcón⁴

¹Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo (PE), Perú, ocapunayu@unprg.edu.pe, wchafloque@unprg.edu.pe

²Universidad Nacional de Ingeniería - (PE), Perú, martin.diaz.g@uni.edu.pe

³Universidad Tecnológica del Perú UTP - (PE), Perú, c22929@utp.edu.pe

⁴Universidad César Vallejo - (PE), Perú, fhilaiof@ucvvirtual.edu.pe

Resumen— La Realidad Aumentada (RA) es una herramienta innovadora en educación, facilitando la enseñanza de conceptos espaciales. Este estudio evalúa su impacto en la comprensión de vistas isométricas en estudiantes universitarios de arquitectura e ingeniería, comparando su efectividad con métodos tradicionales. Se realizó un estudio cuasi-experimental con dos grupos: uno experimental, que usó RA para visualizar modelos tridimensionales, y otro de control, con enseñanza convencional. Se aplicaron pre y post-test de habilidades espaciales mediante el Mental Rotation Test (MRT) y pruebas de diseño técnico. También se midieron la satisfacción estudiantil, el tiempo de resolución de ejercicios y la cantidad de errores. Los resultados muestran que el grupo experimental mejoró significativamente en comprensión espacial y precisión en el diseño de vistas isométricas. En el MRT Post-test, los estudiantes que usaron RA obtuvieron puntajes más altos, indicando un mejor desarrollo de habilidades espaciales. También lograron mayor precisión y eficiencia en la representación de vistas isométricas, reduciendo errores y tiempos de resolución. La satisfacción fue notablemente mayor en quienes emplearon RA. Estos hallazgos confirman que la RA es eficaz en la enseñanza de vistas isométricas, optimizando la comprensión y el aprendizaje. Su integración en la educación técnica y STEM potenciaría la adquisición de habilidades espaciales. Se recomienda su incorporación en programas educativos y futuras investigaciones sobre su aplicación en otras áreas del conocimiento.

Palabras clave— Realidad Aumentada, Vistas Isométricas, Habilidades Espaciales, Educación Técnica, Ingeniería y Arquitectura.

I. INTRODUCCIÓN

La Realidad Aumentada (RA) ha emergido como una herramienta innovadora en la educación superior, ofreciendo nuevas posibilidades para mejorar la enseñanza y el aprendizaje en disciplinas que requieren habilidades espaciales avanzadas. Su capacidad para superponer información digital sobre el mundo real facilita la interacción con modelos tridimensionales, lo que potencia la comprensión de conceptos complejos y mejora la retención del conocimiento. En el ámbito de la educación arquitectónica y de ingeniería, la RA puede desempeñar un papel clave en el desarrollo de la visualización espacial y la interpretación de vistas isométricas.

Diversos estudios han demostrado que la integración de la RA en entornos educativos incrementa la motivación y el

compromiso de los estudiantes, al transformar la enseñanza en una experiencia más inmersiva e interactiva [1]. Además, su aplicación en el nivel superior ha sido objeto de múltiples investigaciones, destacando su efectividad en la mejora del aprendizaje, particularmente en áreas STEM [2].

En el contexto de la enseñanza de vistas isométricas, las dificultades de los estudiantes para visualizar representaciones tridimensionales a partir de dibujos bidimensionales han sido un obstáculo recurrente en su formación. Estudios recientes han evidenciado que el uso de RA en cursos de ingeniería y arquitectura contribuye a superar esta barrera, facilitando la interpretación de modelos espaciales y mejorando el desempeño académico [3].

A pesar de sus beneficios, la adopción de la RA en educación aún enfrenta desafíos, como el costo de implementación y la necesidad de capacitar a docentes en su uso pedagógico [2]. Sin embargo, su potencial para transformar la enseñanza en disciplinas visuales y técnicas justifica la exploración de nuevas metodologías educativas basadas en esta tecnología.

El objetivo general de este estudio es evaluar el impacto de la realidad aumentada en la enseñanza de vistas isométricas para mejorar la comprensión espacial y las habilidades de diseño de los estudiantes universitarios en comparación con los métodos de enseñanza tradicionales. Para ello, se desarrollará un contenido educativo basado en realidad aumentada que facilite la visualización y manipulación de modelos isométricos. Se analizará la efectividad de esta tecnología en comparación con los métodos tradicionales y se evaluará la percepción y experiencia de los estudiantes al utilizar herramientas de realidad aumentada en su aprendizaje.

II. REALIDAD AUMENTADA EN EDUCACIÓN

A. Antecedentes

Impacto de la Realidad Aumentada en Habilidades Espaciales: La realidad aumentada ha demostrado ser una herramienta eficaz en la mejora de las habilidades espaciales de

los estudiantes. Un estudio encontró que el uso de RA en la enseñanza de gráficos de ingeniería aumentó el rendimiento en pruebas escritas y habilidades de rotación mental en un 28.97% [4]. Otro estudio confirmó que la RA apoyó significativamente el desarrollo de habilidades espaciales tridimensionales en estudiantes de ingeniería [5]. Estos hallazgos sugieren que la RA puede mejorar considerablemente la comprensión de conceptos espaciales complejos en estudiantes universitarios.

Mejora de la Comprensión Espacial en la Educación Superior: En la educación superior, la RA ha sido utilizada para mejorar la enseñanza de la química y otras ciencias aplicadas, mostrando un impacto positivo en la comprensión espacial y el entusiasmo de los estudiantes. Por ejemplo, Wong et al. [6] demostraron que el uso de RA en cursos de química mejoró la comprensión de estructuras moleculares complejas y aumentó la motivación estudiantil. Esto indica que la RA puede ser una herramienta poderosa para aumentar la comprensión y el compromiso de los estudiantes en áreas que requieren habilidades espaciales avanzadas.

Integración de la RA en la Enseñanza de la Geometría y Diseño: La integración de la realidad aumentada en la enseñanza de la geometría ha mostrado resultados prometedores en la mejora de las habilidades de pensamiento tridimensional de los estudiantes. Según un estudio, los estudiantes que utilizaron materiales de enseñanza basados en RA mostraron una mejora significativa en su capacidad para reconocer y crear formas tridimensionales [7]. Esta evidencia subraya el potencial de la RA para enriquecer la enseñanza de conceptos geométricos y de diseño, facilitando la visualización y manipulación de modelos complejos.

Reducción de la Carga Cognitiva mediante RA: La utilización de RA en entornos de aprendizaje ha mostrado una reducción significativa de la carga cognitiva extrínseca, lo que permite a los estudiantes procesar la información de manera más efectiva. Thees et al. [8] encontraron que la RA, al combinar componentes de aprendizaje virtuales y reales, facilita el procesamiento cognitivo y mejora la adquisición de conocimientos conceptuales en cursos de física universitaria. Este hallazgo es crucial para el desarrollo de métodos de enseñanza que optimicen la carga cognitiva de los estudiantes en la enseñanza de vistas isométricas y diseño.

Aplicación de RA en la Educación Técnica y STEM: La RA ha sido implementada en la educación técnica para mejorar la capacidad espacial de los estudiantes, con aplicaciones exitosas en la enseñanza de transformaciones 3D y diseño geométrico. Un estudio demostró que el uso de herramientas de RA en la educación técnica no solo mejoró la habilidad espacial de los estudiantes, sino que también aumentó su capacidad para resolver problemas complejos y aplicar conceptos teóricos en situaciones prácticas [9]. Esto sugiere que la RA puede ser una

metodología eficaz para preparar a los estudiantes para carreras en STEM al desarrollar habilidades prácticas y teóricas críticas.

B. Definiciones

1) Realidad Aumentada

Se define como una tecnología que superpone información digital sobre el mundo físico en tiempo real, permitiendo a los usuarios interactuar con elementos virtuales en su entorno inmediato. Esta tecnología ha evolucionado significativamente en los últimos años y ha sido adoptada en diversos campos, incluidos la medicina, el entretenimiento y, notablemente, la educación. La RA ofrece una experiencia de aprendizaje más interactiva y envolvente que puede motivar y captar la atención de los estudiantes de manera más efectiva que los métodos de enseñanza tradicionales [4]. La tecnología de RA permite la visualización tridimensional (3D) de objetos, lo que facilita una mejor comprensión de conceptos abstractos y complejos, especialmente en áreas que requieren habilidades espaciales avanzadas [7].

2) Ventajas de la RA en la Educación

La RA en la educación presenta múltiples ventajas que mejoran la calidad del aprendizaje. En primer lugar, la RA aumenta la motivación y el compromiso de los estudiantes al ofrecer experiencias de aprendizaje más atractivas e interactivas [6]. Un estudio demostró que los estudiantes que utilizaron RA en cursos de química informaron niveles más altos de entusiasmo y comprensión, lo que mejoró significativamente sus resultados académicos. Además, la RA facilita la comprensión de conceptos complejos al permitir que los estudiantes interactúen con modelos tridimensionales, lo que puede ser particularmente beneficioso en disciplinas como la ingeniería, las ciencias y la arquitectura [5]. La capacidad de visualizar y manipular objetos virtuales ayuda a los estudiantes a desarrollar una comprensión más profunda de los conceptos abstractos y mejora sus habilidades de resolución de problemas.

III. METODOLOGÍA

Este estudio se basa en un enfoque cuasi-experimental con un diseño de grupos control y experimental. Se empleará una metodología mixta que combine análisis cuantitativos y cualitativos para evaluar el impacto de la realidad aumentada en la enseñanza de vistas isométricas. La población objetivo está compuesta por estudiantes universitarios de arquitectura e ingeniería en instituciones de educación superior de Lambayeque, Perú. Se seleccionó una muestra aleatoria estratificada para garantizar la representatividad de los participantes. Los criterios de inclusión consideran estudiantes matriculados en cursos donde la comprensión de vistas isométricas es fundamental. El estudio se implementó dividiendo a los participantes en dos grupos: uno experimental, que utilizará herramientas de RA, y otro de control, que seguirá métodos tradicionales. Se diseñarán contenidos educativos

específicos basados en RA para la enseñanza de vistas isométricas. Antes de la implementación, los docentes recibirán formación sobre el uso de esta tecnología y la metodología aplicada en el estudio. Para la evaluación del impacto, se aplicaron pruebas de comprensión espacial y diseño antes y después de la intervención en ambos grupos. Se utilizaron pruebas estadísticas y análisis cualitativos de encuestas para medir el impacto de la RA en el aprendizaje. Se empleó el Mental Rotation Test (MRT) [10] para evaluar las habilidades espaciales, junto con pruebas específicas para medir la capacidad de los estudiantes en la interpretación y creación de vistas isométricas. Además, se recopiló datos mediante cuestionarios estructurados para conocer la experiencia y percepción de los estudiantes respecto a la RA y se realizaron observaciones en el aula para registrar las interacciones y respuestas de los participantes.

IV. DESARROLLO TÉCNICO DEL CONTENIDO EDUCATIVO EN REALIDAD AUMENTADA

Para la implementación del contenido educativo en Realidad Aumentada, se desarrolló una aplicación web basada en A-Frame [11] y AR.js [12], tecnologías ampliamente utilizadas para la visualización interactiva de modelos tridimensionales en entornos de RA. Esta aplicación proporciona a los estudiantes la capacidad de visualizar y manipular modelos isométricos a través de una interfaz intuitiva, accesible directamente desde navegadores web sin necesidad de instalar software adicional. La accesibilidad de esta solución permite que los estudiantes interactúen con los modelos tridimensionales en tiempo real, fomentando una comprensión más profunda de las estructuras y sus relaciones espaciales. Estudios recientes han demostrado que la implementación de RA en la educación STEM mejora significativamente la motivación de los estudiantes y su capacidad de comprensión de conceptos complejos [13].

El desarrollo técnico se centra en la integración de un modelo 3D en formato GLTF, el cual se carga dinámicamente en la escena de RA. El modelo se posiciona sobre un marcador físico identificado mediante un patrón .patt, lo que permite su superposición en el entorno real del usuario sin requerir ajustes manuales. Esta característica mejora la usabilidad de la aplicación, ya que los estudiantes pueden visualizar de inmediato el objeto tridimensional sin necesidad de configuraciones previas. Para enriquecer la experiencia interactiva, se incorporó la funcionalidad de interacción gestual mediante gesture-handler.js, lo que otorga a los usuarios la posibilidad de rotar, escalar y mover el modelo con gestos táctiles o del ratón, proporcionando una experiencia inmersiva y adaptable a distintos dispositivos. También se implementó la entidad animation-mixer, la cual permite ejecutar animaciones preconfiguradas en el modelo GLTF, facilitando la visualización de sus transformaciones espaciales y reforzando el aprendizaje de conceptos geométricos fundamentales. Investigaciones han demostrado que el uso de RA en entornos

educativos permite visualizar mejor las relaciones espaciales y mejorar la comprensión de estructuras complejas [14].

El sistema de seguimiento de marcadores se basa en AR.js, garantizando un reconocimiento preciso y estable del marcador y asegurando una correcta alineación del modelo 3D en la escena. La detección eficiente de los marcadores permite que los modelos se superpongan correctamente en el entorno real del usuario, mejorando la precisión de la experiencia de aprendizaje. La carga optimizada de recursos mediante a-assets permite que los modelos se precarguen y almacenen en caché, minimizando tiempos de latencia y mejorando la fluidez en la interacción, lo que evita interrupciones en la exploración de los modelos isométricos. Investigaciones previas sugieren que la optimización de la carga de modelos en RA ayuda a mejorar la experiencia del usuario y reduce la carga cognitiva, facilitando la enseñanza de conceptos abstractos [15].

El código base de la aplicación se estructura en HTML y JavaScript, utilizando A-Frame para la configuración de la escena de RA y AR.js para la integración con la cámara del dispositivo. Se ha empleado una configuración específica para deshabilitar la interfaz de realidad virtual, priorizando la visualización en entornos de RA sobre la experiencia inmersiva completa de la RV. Esto permite optimizar la representación en navegadores móviles y de escritorio, asegurando compatibilidad con una amplia gama de dispositivos y mejorando la accesibilidad para los estudiantes que no cuentan con hardware especializado para experiencias de RV. En estudios recientes, la adaptación de aplicaciones RA a plataformas web ha sido identificada como un factor clave para la adopción masiva de estas tecnologías en el sector educativo [16].

Este desarrollo técnico proporciona un entorno interactivo en el que los estudiantes pueden explorar modelos isométricos desde múltiples ángulos, analizar sus dimensiones y estudiar su estructura en detalle. La posibilidad de manipular directamente los modelos tridimensionales permite a los estudiantes desarrollar una mejor intuición espacial, lo que contribuye a la internalización de conceptos geométricos esenciales para disciplinas como ingeniería, arquitectura y diseño técnico. La aplicación representa una alternativa accesible y efectiva para la enseñanza de vistas isométricas en el ámbito universitario, alineándose con investigaciones previas que destacan el impacto positivo de la RA en la educación técnica y STEM [17]. Además, al reducir la carga cognitiva mediante una representación visual intuitiva, la RA permite a los estudiantes centrar su atención en la resolución de problemas y en la aplicación de principios de diseño en contextos prácticos [18].

La implementación de este contenido educativo no solo mejora la comprensión de vistas isométricas, sino que también fomenta la participación activa de los estudiantes en su proceso de aprendizaje. Al integrar la RA en la educación universitaria, se facilita la transición de conceptos abstractos a representaciones concretas y manipulables, promoviendo el aprendizaje autónomo y experimental. Futuras mejoras podrían incluir la incorporación de ejercicios evaluativos dentro del

entorno de RA, la implementación de escenarios personalizados para diferentes niveles de complejidad y la integración con sistemas de gestión del aprendizaje para monitorear el progreso de los estudiantes y adaptar los contenidos a sus necesidades específicas [19].

Como resultado de esta etapa de desarrollo se obtuvo una web app que permite al usuario visualizar una representación tridimensional a partir de una tarjeta que funciona como marcador. Al enfocar la cámara del dispositivo hacia el marcador, el modelo 3D es superpuesto digitalmente sobre la imagen del marcador (Ver Figura 1).



Figura 1. Aplicación web con Realidad Aumentada

El modelo isométrico en la imagen es un conjunto de cubos representados en líneas, organizados en una estructura escalonada. La figura 2, muestra en detalle el diseño del objeto que se muestra en la app de RA.

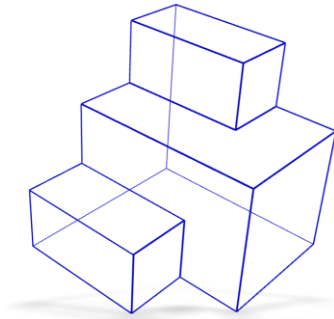


Figura 2. Diseño 3D utilizado para el contenido de RA

V. RESULTADOS

A. Resultados del MRT Pre-test

Para evaluar las habilidades espaciales iniciales de los estudiantes antes de la intervención educativa, se aplicó el Mental Rotation Test (MRT) a ambos grupos (Control y Experimental). La Tabla 1 presenta los estadísticos descriptivos de los puntajes obtenidos.

Tabla 1. ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DEL MRT PRE-TEST

Grupo	N	Media	Desv. Estándar	Mín.	25%	50%	75%	Máx.
Control	30	17.50	3.15	12	15.00	18.0	20.0	23

Experi- mental	30	18.37	3.47	12	15.25	18.5	21.0	24
-------------------	----	-------	------	----	-------	------	------	----

El grupo Control obtuvo un promedio de 17.5 puntos en el MRT Pre-test, mientras que el grupo Experimental tuvo una media ligeramente superior de 18.37 puntos. La dispersión de los datos, medida a través de la desviación estándar, fue de 3.15 y 3.47 para los grupos Control y Experimental, respectivamente. Los valores mínimos y máximos fueron similares en ambos grupos, indicando una distribución comparable de habilidades espaciales iniciales.

Para determinar si existía una diferencia significativa entre los puntajes iniciales de ambos grupos, se realizó una prueba t de muestras independientes. Los resultados mostraron un estadístico $t = -1.01$ y un valor $p = 0.315$, lo que indica que no hay una diferencia estadísticamente significativa entre los puntajes iniciales de ambos grupos ($p > 0.05$). Esto sugiere que los estudiantes de ambos grupos comenzaron con niveles similares de habilidades espaciales, lo que permite atribuir con mayor certeza cualquier diferencia en el MRT Post-test a la intervención educativa aplicada.

B. Resultados del MRT Post-test

Tras la implementación de la intervención educativa con Realidad Aumentada, se volvió a aplicar el Mental Rotation Test a los estudiantes de ambos grupos (Control y Experimental) para evaluar los cambios en sus habilidades espaciales. La tabla 2 presenta los estadísticos descriptivos de los puntajes obtenidos en el MRT Post-test.

Tabla 2. ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE MRT POST-TEST

Grupo	N	Media	Desv. Estándar	Mín.	25%	50%	75%	Máx.
Control	30	19.43	2.37	15	18.00	19.50	21.00	24
Experi- mental	30	25.57	2.60	21	24.00	26.00	27.00	30

Los resultados indican que el grupo Control obtuvo un promedio de 19.43 puntos en el MRT Post-test, mientras que el grupo Experimental alcanzó una media de 25.57 puntos. Esta diferencia refleja una mejora sustancial en la capacidad de manipulación mental de objetos tridimensionales en el grupo que utilizó la RA.

La dispersión de los puntajes, medida a través de la desviación estándar, fue de 2.37 para el grupo Control y 2.60 para el grupo Experimental, lo que indica una distribución de datos similar entre los participantes de cada grupo. Además, el rango intercuartil del grupo Experimental (24 - 27) es más elevado, reflejando una mejora más uniforme en comparación con el grupo Control.

Para evaluar si la diferencia en los puntajes es estadísticamente significativa, se realizó una prueba t de muestras independientes. Los resultados mostraron un estadístico t de -9.43 y un valor p de 3.08×10^{-13} . Dado que el valor p es extremadamente pequeño ($p < 0.001$), se puede concluir que la diferencia observada entre los puntajes de MRT

Post-test en los grupos Control y Experimental es altamente significativa. Esto implica que el uso de Realidad Aumentada tuvo un impacto positivo y considerable en la mejora de las habilidades espaciales de los estudiantes.

C. Resultados del Diseño Pre-Test

Antes de la intervención educativa con Realidad Aumentada (RA), se aplicó una evaluación inicial de habilidades de diseño técnico a los estudiantes de ambos grupos (Control y Experimental). La tabla 3 presenta los estadísticos descriptivos obtenidos en el Diseño Pre-Test.

TABLA 3.
ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE DISEÑO PRE-TEST

Grupo	N	Media	Desv. Estándar	Mín .	25%	50%	75%	Máx.
Control	30	13.87	2.24	10	12.00	14.00	15.75	18
Experimental	30	14.47	2.00	11	13.00	14.50	16.00	18

Los resultados indican que el grupo Control obtuvo un promedio de 13.87 puntos en el Diseño Pre-Test, mientras que el grupo Experimental alcanzó una media de 14.47 puntos. La dispersión de los puntajes, representada por la desviación estándar, fue de 2.24 en el grupo Control y de 2.00 en el grupo Experimental, lo que sugiere que ambos grupos presentaban una variabilidad similar en sus habilidades iniciales de diseño técnico.

Para evaluar si la diferencia entre los puntajes de los dos grupos era significativa, se realizó una prueba t de muestras independientes. Los resultados mostraron un estadístico t de -1.10 y un valor p de 0.278, lo que indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos en la evaluación inicial ($p > 0.05$). Esto sugiere que los participantes de ambos grupos tenían niveles comparables en la representación de vistas isométricas antes de la intervención educativa, lo que permite atribuir con mayor certeza cualquier mejora en el Diseño Post-Test al impacto de la Realidad Aumentada.

D. Resultados del Diseño Post-Test

Después de la intervención educativa con Realidad Aumentada, se aplicó nuevamente la evaluación de habilidades de diseño técnico a los estudiantes de ambos grupos (Control y Experimental). La siguiente tabla presenta los estadísticos descriptivos obtenidos en el Diseño Post-Test.

TABLA 4.
ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DEL DISEÑO POST-TEST

Grupo	N	Media	Desv. Estándar	Mín .	25%	50%	75%	Máx.
Control	30	16.80	2.23	13	15.00	17.00	18.75	21
Experimental	30	24.40	2.69	19	22.25	25.00	26.75	28

Los resultados indican que el grupo Control obtuvo un promedio de 16.80 puntos en el Diseño Post-Test, mientras que el grupo Experimental alcanzó una media de 24.40 puntos. La dispersión de los puntajes, representada por la desviación

estándar, fue de 2.23 en el grupo Control y de 2.69 en el grupo Experimental, lo que sugiere que el grupo Experimental presentó una mayor variabilidad en sus puntajes.

Para evaluar si la diferencia entre los puntajes de los dos grupos era significativa, se realizó una prueba t de muestras independientes. Los resultados mostraron un estadístico t de -11.91 y un valor p de 5.29×10^{-17} , lo que indica que la diferencia observada entre los grupos es altamente significativa ($p < 0.001$). Esto sugiere que el uso de Realidad Aumentada tuvo un impacto positivo y considerable en la mejora de las habilidades de interpretación y representación de vistas isométricas en los estudiantes del grupo Experimental.

E. Resultados de la Evaluación de Satisfacción

Se aplicó una encuesta de satisfacción a los estudiantes de ambos grupos (Control y Experimental) para evaluar su percepción sobre el método de enseñanza utilizado. La tabla 5 presenta los estadísticos descriptivos obtenidos en la evaluación de satisfacción.

TABLA 5.
ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LA EVALUACIÓN DE SATISFACCIÓN

Grupo	N	Media	Desv. Estándar	Mín .	25%	50%	75%	Máx.
Control	30	3.63	0.49	3	3.00	4.00	4.00	4
Experimental	30	4.57	0.50	4	4.00	5.00	5.00	5

Los resultados muestran que el grupo Control obtuvo una media de 3.63 en la escala de satisfacción, mientras que el grupo Experimental alcanzó un promedio de 4.57. La desviación estándar fue similar en ambos grupos, lo que indica una consistencia en las respuestas.

Para evaluar si la diferencia en la satisfacción entre los grupos es significativa, se realizó una prueba t de muestras independientes. Los resultados mostraron un estadístico t de -7.27 y un valor p de 1.03×10^{-9} , lo que indica que la diferencia entre los grupos es altamente significativa ($p < 0.001$). Esto sugiere que los estudiantes del grupo Experimental, que utilizaron Realidad Aumentada, expresaron un mayor nivel de satisfacción con el método de enseñanza en comparación con el grupo Control.

F. Resultados del Tiempo de Resolución

Se registró el tiempo que tardaron los estudiantes en completar los ejercicios de vistas isométricas en ambos grupos (Control y Experimental). La tabla 6 presenta los estadísticos descriptivos del tiempo de resolución en minutos.

TABLA 6.
ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DEL TIEMPO DE RESOLUCIÓN (MINUTOS)

Grupo	N	Media	Desv. Estándar	Mín .	25%	50%	75%	Máx.
Control	30	34.87	1.22	33	34.00	35.00	36.00	37
Experimental	30	22.93	1.23	21	22.00	23.00	24.00	25

Los resultados muestran que los estudiantes del grupo Control necesitaron en promedio 34.87 minutos para completar los ejercicios, mientras que el grupo Experimental tardó 22.93 minutos. La desviación estándar en ambos grupos fue similar, lo que indica una variabilidad comparable en los tiempos de resolución dentro de cada grupo.

Para determinar si la diferencia en los tiempos de resolución es significativa, se realizó una prueba t de muestras independientes. Los resultados mostraron un estadístico t de 37.66 y un valor p de 1.81×10^{-42} , lo que indica que la diferencia entre los grupos es altamente significativa ($p < 0.001$). Esto sugiere que el uso de Realidad Aumentada permitió a los estudiantes resolver los ejercicios de manera más rápida y eficiente en comparación con los métodos tradicionales empleados en el grupo Control.

G. Resultados de los Errores Comunes

Se analizaron los errores cometidos por los estudiantes en la interpretación y construcción de vistas isométricas en ambos grupos (Control y Experimental). La tabla 7 presenta los estadísticos descriptivos del porcentaje de errores comunes.

TABLA 7.
ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LOS ERRORES COMUNES (%)

Grupo	N	Media	Desv. Estándar	Mín .	25%	50%	75%	Máx.
Control	30	61.67	1.79	58	60.00	61.50	63.00	65
Experi-mental	30	31.30	1.88	28	30.00	31.00	32.00	35

Los resultados muestran que el grupo Control presentó un porcentaje de errores promedio de 61.67%, mientras que el grupo Experimental tuvo una media de 31.30%. La desviación estándar en ambos grupos es similar, lo que indica que la variabilidad de los errores dentro de cada grupo es comparable.

Para evaluar si la diferencia en los errores entre los grupos es significativa, se realizó una prueba t de muestras independientes. Los resultados mostraron un estadístico t de 64.15 y un valor p de 1.86×10^{-55} , lo que indica que la diferencia entre los grupos es altamente significativa ($p < 0.001$). Esto sugiere que el uso de Realidad Aumentada permitió reducir significativamente los errores en la interpretación y construcción de vistas isométricas en comparación con los métodos tradicionales empleados en el grupo Control.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en esta investigación confirman el impacto positivo de la Realidad Aumentada en el desarrollo de habilidades espaciales y la interpretación de vistas isométricas. La mejora significativa observada en el grupo Experimental en el MRT Post-Test, el Diseño Post-Test y la reducción de errores comunes sugiere que la RA facilita la comprensión de estructuras tridimensionales, en línea con

estudios previos que destacan su efectividad en la enseñanza de conceptos espaciales complejos [4], [5].

El aumento en la satisfacción estudiantil en el grupo que utilizó RA refuerza la idea de que esta tecnología no solo mejora el aprendizaje, sino también la motivación y el compromiso de los estudiantes, como lo evidenciaron Wong et al. [6] en el ámbito de la educación superior. Este hallazgo es crucial, ya que una mayor satisfacción puede estar relacionada con un mejor desempeño y una mayor retención de conocimientos en el tiempo.

Además, la significativa reducción en el tiempo de resolución de ejercicios en el grupo Experimental respalda la hipótesis de que la RA optimiza la carga cognitiva al permitir una visualización más clara y manipulativa de los objetos tridimensionales [8]. Esto coincide con la evidencia previa que sugiere que la integración de RA en la enseñanza de la geometría mejora las habilidades de pensamiento tridimensional y facilita la manipulación de modelos complejos [7].

La disminución del porcentaje de errores en la interpretación y construcción de vistas isométricas en el grupo Experimental es un indicador clave de que la RA mejora la precisión y comprensión de conceptos geométricos. Esto concuerda con investigaciones en educación técnica y STEM, donde la RA ha demostrado ser una herramienta eficaz para fortalecer la capacidad espacial y la aplicación de conceptos en entornos prácticos [9].

En conjunto, estos hallazgos refuerzan la importancia de la RA como una estrategia pedagógica innovadora en la educación técnica y en disciplinas que requieren habilidades espaciales avanzadas. Su implementación no solo mejora el desempeño de los estudiantes en pruebas objetivas, sino que también contribuye a una experiencia de aprendizaje más interactiva y motivadora. Futuras investigaciones podrían enfocarse en la sostenibilidad del impacto de la RA a largo plazo y en su aplicabilidad en otros contextos educativos y disciplinas afines.

VII. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian que la Realidad Aumentada tiene un impacto significativo y positivo en la enseñanza de vistas isométricas, contribuyendo al desarrollo de habilidades espaciales, el desempeño en el diseño técnico, la eficiencia en la resolución de ejercicios y la satisfacción estudiantil. Estos hallazgos refuerzan el papel de la RA como una herramienta educativa innovadora que facilita el aprendizaje interactivo y mejora la comprensión de conceptos geométricos en disciplinas como ingeniería, arquitectura y diseño técnico.

Los análisis del Mental Rotation Test mostraron que ambos grupos comenzaron con niveles similares de habilidades espaciales, lo que permitió evaluar con mayor precisión los efectos de la intervención. Sin embargo, tras la implementación de la RA, el grupo Experimental experimentó una mejora significativa en su capacidad de manipulación mental de

objetos tridimensionales, con un incremento considerable en los puntajes del MRT Post-test en comparación con el grupo Control. Esto sugiere que la RA potencia la habilidad de visualizar y rotar mentalmente figuras tridimensionales, facilitando el desarrollo del pensamiento espacial de los estudiantes [13].

El desarrollo de estas habilidades espaciales es fundamental en disciplinas técnicas, donde la correcta interpretación de modelos tridimensionales es clave para la resolución de problemas y el diseño de estructuras complejas. En este sentido, la RA ofrece un entorno visual dinámico y manipulable que mejora la capacidad de los estudiantes para comprender relaciones espaciales, optimizando su rendimiento académico en cursos relacionados con la geometría y el diseño técnico [14].

Los resultados de las pruebas de diseño técnico revelaron que, si bien ambos grupos iniciaron con habilidades comparables en la interpretación de vistas isométricas, el grupo Experimental logró un incremento significativo en la capacidad de representación y construcción de vistas tridimensionales tras la intervención con RA. Este hallazgo refuerza la idea de que la RA facilita el aprendizaje de conceptos geométricos y técnicos, permitiendo a los estudiantes visualizar los modelos desde distintos ángulos y comprender mejor sus propiedades estructurales [15].

La posibilidad de manipular modelos 3D en un entorno interactivo mejora la comprensión de las vistas isométricas y refuerza la conexión entre la teoría y la práctica. Esta capacidad no solo optimiza la representación gráfica de los diseños, sino que también fomenta una mayor precisión en la interpretación y construcción de vistas tridimensionales, reduciendo los errores comunes y mejorando la calidad del trabajo de los estudiantes [16].

Los resultados de la evaluación de satisfacción indicaron que los estudiantes que utilizaron la RA reportaron una experiencia de aprendizaje más enriquecedora y atractiva en comparación con aquellos que siguieron métodos tradicionales. La interactividad, combinada con la representación visual de los modelos tridimensionales, aumentó la motivación y el compromiso de los estudiantes con el contenido académico [17].

Este resultado es consistente con investigaciones previas que han demostrado que el uso de RA en entornos educativos mejora la participación activa y promueve un aprendizaje más autónomo y significativo. Al permitir que los estudiantes exploren modelos interactivos y comprendan conceptos de manera visual, la RA reduce la carga cognitiva y facilita la retención de información [18].

Los análisis de los tiempos de resolución revelaron que los estudiantes del grupo Experimental resolvieron los ejercicios en un tiempo significativamente menor en comparación con el grupo Control. Este hallazgo sugiere que la RA agiliza la comprensión y aplicación de conceptos, permitiendo a los estudiantes optimizar su rendimiento académico y disminuir la frustración asociada al aprendizaje de vistas isométricas [19].

Asimismo, la reducción en el porcentaje de errores en la interpretación y construcción de vistas isométricas en el grupo Experimental indica que la RA favorece la precisión en la representación técnica, minimizando equivocaciones en los estudiantes y mejorando la calidad de sus diseños.

Los resultados de esta investigación confirman que la Realidad Aumentada es una herramienta efectiva para la enseñanza de vistas isométricas. Su implementación en el aula no solo mejora la comprensión espacial y el diseño técnico, sino que también incrementa la motivación de los estudiantes, optimiza los tiempos de resolución y reduce significativamente los errores en la representación tridimensional. Estos hallazgos respaldan la integración de la RA en la educación universitaria como un recurso clave para fortalecer el aprendizaje en disciplinas técnicas y STEM.

REFERENCIAS

- [1] B. Rodríguez Caldera, «Realidad Aumentada en Educación Primaria: Revisión sistemática», *Edutec Rev. Electrónica Tecnol. Educ.*, n.º 77, Art. n.º 77, sep. 2021, doi: 10.21556/edutec.2021.77.1703.
- [2] E. J. Sosa Jiménez, J. L. Martínez López, y R. A. Vera Aguilar, «Intervención de la Tecnología de Realidad Aumentada en la Educación: Una Revisión Sistemática de la Literatura: Augmented Reality Technology Intervention in Education: A Systematic Review of the Literature», *Tecnol. Educ. Rev. CONAIC*, vol. 7, n.º 2, Art. n.º 2, dic. 2020, doi: 10.32671/terc.v7i2.2.
- [3] J. Medina Quero, M. D. Ruiz Lozano, J. M. Serrano Chica, y M. Espinilla Estévez, «Integración de conceptos tecnológicos emergentes en educación superior a través de aprendizaje basado en proyectos», en *Tecnologías emergentes y estilos de aprendizaje para la enseñanza*, 2020, ISBN 978-84-09-16847-7, págs. 111-122, Junta de Andalucía, 2020, pp. 111-122. Accedido: 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7408966>
- [4] P. Kudale y R. Buktar, «Investigation of the Impact of Augmented Reality Technology on Interactive Teaching Learning Process», *Int. J. Virtual Pers. Learn. Environ. IJVPLE*, vol. 12, n.º 1, pp. 1-16, 2022, doi: 10.4018/IJVPLE.285594.
- [5] C. Papakostas, C. Troussas, A. Krouska, y C. Sgouropoulou, «Personalization of the Learning Path within an Augmented Reality Spatial Ability Training Application Based on Fuzzy Weights», *Sensors*, vol. 22, n.º 18, Art. n.º 18, ene. 2022, doi: 10.3390/s22187059.
- [6] C. H. S. Wong, K. C. K. Tsang, y W.-K. Chiu, «Using Augmented Reality as a Powerful and Innovative Technology to Increase Enthusiasm and Enhance Student Learning in Higher Education Chemistry Courses», *J. Chem. Educ.*, vol. 98, n.º 11, pp. 3476-3485, nov. 2021, doi: 10.1021/acs.jchemed.0c01029.
- [7] E. İbili, M. Çat, D. Resnyansky, S. Şahin, y M. Billinghamurst, «An assessment of geometry teaching supported with augmented reality teaching materials to enhance students' 3D geometry thinking skills», *Int. J. Math. Educ. Sci. Technol.*, feb. 2020, Accedido: 5 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0020739X.2019.1583382>
- [8] M. Thees, S. Kapp, M. P. Strzys, F. Beil, P. Lukowicz, y J. Kuhn, «Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses», *Comput. Hum. Behav.*, vol. 108, p. 106316, jul. 2020, doi: 10.1016/j.chb.2020.106316.
- [9] T. Suselo, B. C. Wünsche, y A. Luxton-Reilly, «Using Mobile Augmented Reality for Teaching 3D Transformations», en *Proceedings of the 52nd ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, en SIGCSE '21. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, mar. 2021, pp. 872-878. doi: 10.1145/3408877.3432401.

- [10] R. N. Shepard y J. Metzler, «Mental rotation of three-dimensional objects», *Science*, vol. 171, n.º 3972, pp. 701-703, 1971, doi: 10.1126/science.171.3972.701.
- [11] «A-Frame – Make WebVR», A-Frame. Accedido: 17 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://aframe.io>
- [12] «AR.js - Augmented Reality on the Web», AR.js. Accedido: 17 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ar-js-org.github.io/AR.js/>
- [13] G. F. Ruiz Muñoz, D. A. Yépez González, N. V. Romero Amores, y Á. F. Cali Proaño, «Augmented reality's impact on STEM learning», *Salud Cienc. Tecnol.*, vol. 4, p. 1202, ene. 2024, doi: 10.56294/saludcyt20241202.
- [14] I. Knysh, I. Palshkova, O. Balalaieva, H. Kobernyk, y V. Tiahur, «Augmented reality in higher school as a tool for implementation of STEM education», *Rev. Amazon. Investiga*, vol. 13, n.º 74, pp. 180-192, feb. 2024, doi: 10.34069/I/2024.74.02.15.
- [15] N. Le y H. Dinh, «Augmented Reality in Language and STEM Education: Implications and Potentials for ELLs», K. B. Kelch, P. Byun, S. Safavi, y S. Cervantes, Eds., IGI Global, 2021, pp. 35-59. doi: 10.4018/978-1-7998-6609-1.ch002.
- [16] V. V. Osadchyi, N. V. Valko, y L. V. Kuzmich, «Using augmented reality technologies for STEM education organization», *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1840, n.º 1, p. 012027, mar. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1840/1/012027.
- [17] L. Y. Midak, I. V. Kravets, O. V. Kuzyshyn, L. V. Baziuk, K. V. Buzhdyhan, y J. D. Pahomov, «Augmented reality as a part of STEM lessons», *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1946, n.º 1, p. 012009, jun. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1946/1/012009.
- [18] T. Talan, «Augmented Reality in STEM Education: Bibliometric Analysis», *Int. J. Technol. Educ.*, 2021, doi: 10.46328/ijte.136.
- [19] F. I. Maulana, A. Rahayu, G. K. Zamahsari, P. D. P. Adi, R. Arifuddin, y W. Dirgantara, «Augmented Reality in Higher Education: Literature Review», 2024 *Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. ISITIA*, pp. 752-757, jul. 2024, doi: 10.1109/ISITIA63062.2024.10667817.