

# Entrenamiento Basado en Realidad Aumentada para Mejorar Habilidades Espaciales y Rendimiento Académico en Estudiantes de Ingeniería

**Hugo C. Gómez-Tone**

hgomez@unsa.edu.pe

Universidad Nacional de San Agustín, Perú

**Jorge Martín-Gutiérrez**

jmargu@ull.edu.es

Universidad de La Laguna, España

**Betty K. Valencia-Anci**

bvalenciaa@unsa.edu.pe

Universidad Nacional de San Agustín, Perú

## Resumen

Se ha demostrado que la Habilidad Espacial es un atributo y característica importante que toda persona interesada en la Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM) debe tener, pero además que tiene una relación directa con la tasa de éxito de los estudiantes universitarios en el primer año de ingeniería. El propósito de esta investigación es analizar los niveles de Habilidad Espacial que tienen los estudiantes de primer año de Ingeniería Civil de una universidad peruana y determinar la mejora de estos niveles a través de un entrenamiento corto basado en Realidad Aumentada (RA) y compararlo con el rendimiento académico. Se reclutaron 62 estudiantes de un total de 134 y el grupo experimental y el de control tuvieron 31 estudiantes cada uno. Se consideraron los componentes de Relaciones Espaciales y Visualización Espacial para ser medidos con el Test de Rotación Mental y el Test de Aptitud Diferencial. Para medir el rendimiento académico, se utilizó los datos de las calificaciones de cuatro asignaturas. Tras el entrenamiento, se evidenció una mejora estadísticamente significativa en los niveles de Habilidad Espacial del grupo experimental y en el rendimiento académico. La conclusión es que un entrenamiento corto y específico basado en RA no sólo mejora las Habilidades Espaciales, sino que también mejora el rendimiento académico.

## Palabras clave

Realidad Aumentada, Habilidad Espacial, STEM, Ingeniería, Entrenamiento

# Augmented Reality-Based Training to Improve Spatial Skills and Academic Performance in Engineering Students

**Hugo C. Gómez-Tone**

hgomez@unsa.edu.pe

Universidad Nacional de San Agustín, Peru

**Jorge Martin-Gutierrez**

jmargu@ull.edu.es

Universidad de La Laguna, Spain

**Betty K. Valencia-Anci**

bvalenciaa@unsa.edu.pe

Universidad Nacional de San Agustín, Peru

## Abstract

It has been shown that Spatial Skills is an important attribute and characteristic that every person interested in Science, Technology, Engineering and Math (STEM) must have, but also has a direct relationship with the success rates of first-year university engineering students. The purpose of this research is to analyze the levels of Spatial Skills that first-year Civil Engineering students at a Peruvian university have and determine the improvement of these levels through a short training based on Augmented Reality (AR) and compare it with academic performance. Sixty-two students were recruited out of a total population of 134 and the experimental and control group consisted of 31 students each. It was considered the Spatial Relationships and the Spatial Visualization components to be measured with the Mental Rotation Test and Differential Aptitude Test. To measure academic performance, the grading data of four subjects were used. After training, a statistically significant improvement in the Spatial Skill levels of the experimental group was evidenced. Regarding academic performance, there has been an improvement in students who have undergone specific training to improve their spatial skills. The conclusion is that a short and specific training based on AR not only improves Spatial Skills but also helps the academic performance in first-year engineering subjects.

## Keywords

Augmented Reality, Spatial Skills, STEM, Engineering, Training

## I. Introducción

Un requisito importante para todo estudiante que desea introducirse en el campo STEM (Science, Technology, Engineering and Maths) es disponer de un buen nivel de Habilidad Espacial. Se ha demostrado a lo largo de casi un siglo que el desarrollo de las habilidades espaciales y por tanto la adquisición de altos niveles en la Capacidad Espacial permiten el adecuado desempeño de los estudiantes en dichas carreras, convirtiéndose en un predictor del éxito sobre todo en el primer año de estudios en las carreras de ingenierías (Moen et al., 2020 y Wai et al., 2009)

### a. Capacidad Espacial

Hablando de las componentes de la inteligencia humana y su influencia en ámbitos científicos, destaca la Capacidad Espacial definida como la capacidad mental de generar, retener, recuperar y transformar imágenes visuales bien estructuradas (Lohman, 1996). La importancia de esta capacidad se pone de manifiesto a través de habilidades para resolver problemas matemáticos, para comprender cómo configurar la representación espacial abstracta (Hegarty y Waller, 2004) y para visualizar objetos tridimensionales a partir de dibujos bidimensionales (Duesbury y O'Neil Jr, 1996). Sánchez y Reyes (2003) introducen el término "capacidad", para indicar que el individuo dispone de capacidades que permiten a la mente actuar y percibir de un modo que trasciende las leyes naturales. Consideran que una persona está "capacitada para algo" porque dispone de cierta aptitud, destreza y habilidad para desarrollarla. Particularizando a la Capacidad Espacial (y que podría extenderse al resto de capacidades), se indica que, la aptitud es una disposición innata, un potencial natural con que cuenta el individuo, la destreza es la manera en que una persona desarrolla algo con un alto nivel de eficiencia, y la habilidad se conceptualiza como la destreza para desenvolverse. Con respecto a la habilidad espacial, es la destreza para realizar tareas espaciales mentales que se desarrolla gracias al aprendizaje, al ejercicio y a la experiencia adquirida (Figura 1).



Figura. 1. Capacidad Espacial: aptitud, destreza y habilidad.  
Fuente: Sánchez y Reyes (2003)

La habilidad espacial es única, se puede tener mucha o poca habilidad (alto o bajo nivel) pero no varias habilidades espaciales. En realidad, no sería correcto el uso lingüístico del término "habilidades espaciales", pero debido a que está formada por varios subcomponentes (para algunos sub-habilidades), se suele aceptar el uso de término "habilidades espaciales". A pesar del amplio y prolongado estudio de la misma, hasta ahora no hay un consenso entre los investigadores para definir las sub-habilidades que conforman esta, aspecto importante para su medición psicométrica. McGee (1979) distingue cinco subcomponentes: percepción espacial, visualización espacial, rotación mental, relaciones espaciales y orientación espacial. Lohman (1996) y Linn and Petersen (1985), en su meta-análisis consideran tres subcomponentes: percepción espacial, que lleva a que

los participantes localicen ciertos elementos ubicados estratégicamente mientras ignoran la información que les distrae; rotación mental implica la capacidad de imaginar cómo aparecerán los objetos cuando se rotan en un espacio bidimensional o tridimensional y visualización espacial se refiere a la capacidad de manipular información compleja cuando se necesitan varias etapas para producir la solución mental correcta. Autores más recientes como Cattell-Horn-Carroll plantean un Modelo de Inteligencia (Schneider y McGrew, 2012) con once habilidades espaciales que constituyen la Cognición Espacial, mientras que estudios aún más recientes, basados en el modelo anterior y las nuevas teorías contemporáneas consideran que la Cognición Espacial tiene 25 factores (Buckley et al., 2019), muchos de ellos interrelacionados y psicométricamente medibles.

Para los efectos de esta investigación utilizaremos la clasificación propuesta por Carroll (1993) que considera dos subcomponentes: relaciones espaciales o rotación mental definida como la habilidad para imaginar rotaciones de objetos 2D y 3D de un objeto como un cuerpo entero. La rotación mental es la velocidad mental para girar formas simples y reconocerlas en otra posición y visualización espacial, definida como la capacidad de imaginar rotaciones de objetos o de sus partes en tres dimensiones espaciales mediante el plegado y el desplegado. La visualización es la capacidad de manejar mentalmente formas complejas.

## **b. Habilidades Espaciales e Ingeniería**

La importancia de las habilidades espaciales en el campo de la ingeniería se debe a que se ha encontrado una relación directa con el rendimiento académico, la motivación y el aprendizaje autorregulado de los estudiantes de dichas carreras profesionales (Wigfield et al., 2007 y Zimmerman y Martinez-Pons, 1990). Se ha establecido además una relación directa con las tasas de éxito y retención de los estudiantes del primer año con el rendimiento académico en los cursos relacionados con la ingeniería gráfica (S. A. Sorby y Baartmans, 2000), pero además también con el éxito en otras asignaturas del primer año (Charles et al., 2020 y S. Sorby et al., 2014). Varios autores han seguido reforzando la idea que comprender las formas espaciales y girarlas mentalmente en dos dimensiones comparándola con un modelo, o comprender que las relaciones espaciales en 3D son predictores para determinar el rendimiento académico y por ende el éxito universitario (Burton y Dowling, 2009 y Potter et al., 2006). Según Sorby (2005), los estudiantes que al comienzo de su carrera académica tienen problemas para aprender, pueden desanimarse y abandonar el programa de ingeniería, pero si estos estudiantes que poseen bajos niveles de habilidades espaciales se esfuerzan por desarrollarlas, eliminan el alto riesgo de abandonar los programas de ingeniería.

## **c. Entrenamiento de Habilidades Espaciales**

Las habilidades espaciales pueden desarrollarse con práctica y entrenamiento. Existen entrenamientos generales o indirectos que se dan por el desarrollo de las propias actividades STEM, incluidas las prácticas de diseño de ingeniería (Lubinski, 2010) o por el desarrollo de asignaturas obligatorias de expresión gráfica en titulaciones de ingenierías con contenidos de geometría descriptiva, vistas ortográficas, modelado tridimensional, etc. (Gómez-Tone, 2019), los cuales han mostrado efectividad en el desarrollo de esta capacidad, pero a pesar de su larga duración los incrementos de mejora son pequeños (Baenninger y Newcombe, 1989). Otros investigadores han demostrado que resulta más efectiva la mejora de los niveles de habilidad espacial en estudiantes de ingenierías cuando el entrenamiento es específico, es decir, cortos con duración de una a tres semanas, y orientado a un aspecto específico de visualización espacial o rotación espacial (Martin-Gutiérrez et al., 2013 y S. A. Sorby, 2007).

La forma y metodología del entrenamiento es variado, por ejemplo, el uso de lápiz y dibujos croquizados, plataformas multimedia, videojuegos, realidad virtual, realidad aumentada, materiales

físicos, etc. (Alvarez et al., 2017; Martín-Gutiérrez y González, 2016; Šafhalter et al., 2020 y Samsudin et al., 2011) todos ellos efectivos siempre y cuando las actividades diseñadas sean específicas del contexto (Mohler, 2006). Sin embargo, en los últimos 20 años dado el avance de la tecnología, se han creado diversos entrenamientos basados en tecnologías atractivas para los estudiantes (Roca-González et al., 2017), entrenamientos utilizando software de modelado 3D (Torner et al., 2015), usando archivos 3D-PDF, (Gómez-Tone, 2019), desarrollo de un Sistema de Gestión de Aprendizaje Interactivo para desarrollar la capacidad de visualización espacial (Melgosa Pedrosa et al., 2015), formación basada en realidad virtual, herramientas interactivas y formación en exteriores (Gómez-Tone et al., 2020, Martín-Gutiérrez et al., 2013 y Roca-Gonzalez et al., 2014)

A pesar del enorme avance del conocimiento de las habilidades espaciales y su entrenamiento, en Latinoamérica, y en concreto en el Perú, no se ha dado la importancia necesaria a la evaluación y desarrollo de la Capacidad Espacial en la educación superior. Sucede entonces, que en el primer año los estudiantes de ingeniería con mayor Capacidad Espacial obtienen mayor calificación en las asignaturas de Ingeniería Gráfica (Arrieta y Medrano, 2015) y, en general, en los demás cursos como el Cálculo, Física o Química, mientras que los estudiantes con un desarrollo incipiente de dichas capacidades tienen gran desventaja al afrontar tales asignaturas (Acevedo et al., 2015) y por su puesto en la asignatura de expresión gráfica (S. A. Sorby, 2007).

#### **d. Realidad Aumentada y Habilidad Espacial**

A diferencia de la realidad virtual inmersiva en la que el usuario se introduce en un entorno de escenas y objetos de apariencia real generado mediante tecnología informática apartado del mundo real que los rodea, en la realidad aumentada los usuarios pueden ver el mundo real, con objetos virtuales superpuestos o combinados con ellos. Barfield (2015) la define como la extensión del mundo real mediante imágenes sintéticas, por lo que no se requiere que la escena sea completamente generada por una computadora; sin embargo, la imagen sintética se utiliza como complemento a la realidad. Además, la realidad aumentada no debe entenderse solo como visual, sino que también debe incluir información táctil, tangible y auditiva. El desafío de la realidad aumentada es contener simultáneamente tres características (Azuma et al., 2001): la mezcla de realidad y virtualidad, la interactividad en tiempo real y el registro tridimensional. Sin embargo, para que se logren beneficios académicos importantes, se debe planificar claramente el enfoque pedagógico, las estrategias de enseñanza y las técnicas de enseñanza a utilizarse. Porque si bien es cierto que esta tecnología trae como beneficios un mayor entusiasmo y motivación por parte de los estudiantes, y ventajas significativas en la creatividad, la innovación y la participación (Sáez-López et al., 2020), la novedad de la misma tecnología puede ser un factor que distraiga (Sirakaya y Alsancak Sirakaya, 2020) y a pesa de su aplicación en contextos educativos puede no encontrarse mejoras significativamente el rendimiento académico (Sáez López et al., 2018)

Hay muchas experiencias con realidad aumentada aplicadas para el aprendizaje en el campo STEM, las cuales en su mayoría ofrecen actividades de exploración o actividades de simulación (Ibáñez y Delgado-Kloos, 2018). Hay casos en los que incorporaron la realidad aumentada en los cursos de ingeniería gráfica para aumentar el interés y la motivación de los estudiantes (Tumkor et al., 2013), pero son los casos mayoritarios y más importantes los que usan mecanismos de descubrimiento de conocimientos digitales para consumir información a través de la interacción con elementos digitales (Ibáñez y Delgado-Kloos, 2018). En el presente estudio, utilizamos la realidad aumentada como un medio de simulación y descubrimiento de conocimientos para mejorar las habilidades espaciales de los estudiantes debido a su probado impacto motivacional en el aprendizaje (Martín-Gutiérrez y Meneses Fernández, 2014) y a su efectividad para lograr el aprendizaje centrado en el estudiantado (Larsen et al., 2011).

### **e. Propósito del estudio**

El propósito de esta investigación es analizar los niveles de habilidad espacial que tienen los estudiantes del primer año de estudios de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Católica San Pablo de Arequipa en Perú y determinar la mejora de dichos niveles a través de un entrenamiento corto basado en la tecnología de realidad aumentada y validado por (Martín-Gutiérrez et al., 2010).

Los objetivos son:

Analizar en estudiantes de primer año de ingeniería, la mejora de las dos componentes que conforman las habilidades espaciales causado por un entrenamiento corto basado en tareas soportadas por la tecnología de Realidad Aumentada (RA)

Analizar la relación de la mejora de los niveles de habilidades espaciales sobre el rendimiento académico de cuatro asignaturas de primer año de la titulación de ingeniería civil.

## **II. Metodología**

El procedimiento para llevar a cabo esta investigación conforman un conjunto de cuatro: (1) medición de los niveles de habilidad espacial de todos los estudiantes que estudian ingeniería civil (pretest); (2) obtención de dos grupos de estudiantes voluntarios de la titulación de ingeniería civil, un grupo para realizar un entrenamiento de mejora de las habilidades espaciales y otro grupo de control; (3) desarrollo del entrenamiento por los estudiantes del grupo experimental; (4) medición de niveles de habilidad espacial después del entrenamiento tanto a grupo experimental como grupo de control (posttest); (5) análisis de resultados por comparación de diferencias en los niveles de habilidad espacial registrados antes y después del entrenamiento; (6) análisis comparativo de los resultados académicos obtenidos por los estudiantes de ambos grupos (experimental y control) en las distintas asignaturas al finalizar el semestre.

### **a. Instrumentos de medida**

Para medir los dos componentes principales de la habilidad espacial propuestos por Carroll (1993) se utilizaron dos test validados y de amplio uso en el campo de la investigación para la medición de las componentes de la inteligencia. Para medir el rendimiento académico se utilizó el registro académico de fin de semestre.

### **Test de Aptitud Diferencial (DAT5-SR)**

El Test de Aptitudes Diferenciales (DAT) mide la capacidad de los estudiantes para aprender o para actuar eficazmente en un cierto número de áreas, así como para evaluar el potencial de un candidato a un puesto para el desarrollo exitoso de su profesión. Se utiliza para medir la capacidad que posee una persona en diferentes áreas de sus habilidades; es por ello que se considera una prueba de "potencia". Es considerada la herramienta de mayor prestigio para la evaluación de aptitudes (<https://www.pearsonclinical.es/dat-5-test-de-aptitudes-diferenciales>).

En el caso que ocupa, la prueba de Aptitud Diferencial – relaciones espaciales (DAT5-SR) mide la destreza de visualización espacial mediante la creación de imágenes mentales en 3D a partir de la figura desplegada en dos dimensiones. La prueba consta de 50 figuras mostradas a la izquierda con cuatro alternativas mostradas a la derecha, donde solo una de ellas representa la figura tridimensional. El participante debe seleccionar la respuesta correcta proporcionando un punto. El

máximo puntaje de esta prueba es 50 puntos (Bennett et al., 1947). Dos ejemplos se muestran a la izquierda de la Figura 2.

### Test de Rotación Mental (MRT)

La prueba de Rotación Mental (MRT) de Vandenberg and Kuse (1978) es uno de los más utilizados a nivel internacional para medir la habilidad espacial (Caissie, Vigneau y Bors, 2009). Este test mide el tiempo de respuesta del individuo al comparar la posición de una figura frente a figuras similares giradas un cierto ángulo, y está compuesto por 20 figuras muestrales y cuatro alternativas, donde dos de ellas coinciden con la muestra, pero rotadas en el espacio y las otras dos no coinciden. El participante debe seleccionar las dos respuestas, que en caso de acertar supone adquirir dos puntos, pero si el participante elige mal una de las dos alternativas el puntaje se anula. El máximo puntaje de esta prueba es 40 puntos. Es la prueba más utilizada en niveles universitarios para medir la componente de rotación mental y relaciones espaciales (Veurink et al., 2013). Dos ejemplos se muestran a la derecha de la Figura 2.

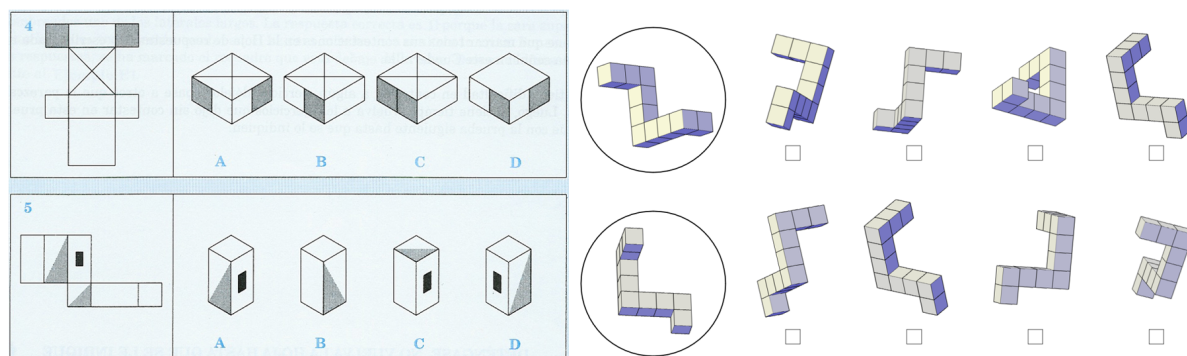


Figura 2: Dos ejemplos de figuras del test DAT5:SR a la izquierda y del MRT a la derecha  
Fuente: (Bennett et al., 1947) (Veurink et al., 2013) (Versión MRT adaptada)

### Registro Académico

Para comparar el rendimiento académico de los estudiantes de grupo experimental y control se ha utilizado la calificación final de asignaturas cursadas durante el segundo semestre: Dibujo Técnico y CAD, Física, Cálculo, y Algebra Lineal. Los datos fueron proporcionados por el servicio de análisis y planificación de la universidad a través del Registro Académico de finalización de semestre.

### b. Participantes

Para este estudio se aplicó un muestreo no probabilístico intencional o por conveniencia. Se reclutó a 62 estudiantes (31 en el grupo experimental y 31 en el grupo control) de una población total de 134. Los participantes fueron estudiantes del primer año de estudios de la carrera profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Católica San Pablo de Arequipa en Perú. El momento de realizar la experiencia fue previo a que los participantes cursaran la asignatura de Dibujo Técnico y CAD, cuyos contenidos giran en torno al aprendizaje de distintos sistemas de representación de objetos, que de forma colateral beneficia en el desarrollo de la habilidad espacial.

### c. Diseño experimental

El entrenamiento se realizó dos semanas antes de comenzar el semestre académico. El primer día, se convoca a todos los estudiantes de ingeniería civil, a los cuales se les administró los

instrumentos de medida Mental Rotation Test (MRT) y Differential Aptitude Test (DAT-5\_SR). Una vez terminada la sesión se les informó la posibilidad de realizar un entrenamiento para mejorar las habilidades espaciales y la importancia de estas en el ámbito de la ingeniería, para lo que se solicitaron voluntarios y se pidió su compromiso de realizar el entrenamiento que se propondría durante los siguientes cinco días, empleando dos horas cada día. Dos días después de finalizar el entrenamiento, se volvieron a administrar los test de medición espacial, tanto a los estudiantes que se entrenaron, como a un grupo de estudiantes que realizaron los pre-test y fueron elegidos al azar para formar el grupo de control.

El entrenamiento consistió en cinco sesiones presenciales de dos horas cada una. Diariamente se realizó una sesión utilizándose el libro aumentado "Curso para la mejora de la Capacidad Espacial" (Martín Gutiérrez et al., s. f.) (figura 3). Este libro tiene asociado un video explicativo de 5 minutos sobre teoría de vistas ortográficas, un software de realidad aumentada, y una marca fiducial genérica para la visualización de objetos 3D en realidad aumentada. El software se instaló en el laboratorio de diseño asistido por ordenador.

Para trabajar con el libro aumentado, la cámara web tendrá en su campo de visión la página del libro, de forma que es capaz de reconocer las margas fiduciales que aparecen en cada página del libro y por tanto reconoce el ejercicio de dicha página. Esto proporciona que el estudiante utilice una marca genérica para visualizar mediante realidad aumentada el objeto 3D asociado al ejercicio de dicha página y así resolver el ejercicio propuesto en cada página del libro. Los ejercicios propuestos para resolver buscan reconocer las diferentes vistas diédricas de un objeto o las perspectivas isométricas, entre otros (figura 3 y 4).

Este material didáctico se creó utilizando la taxonomía de Bloom y se estructuró en cinco niveles, cada uno de los cuales contiene varios tipos de ejercicios, y se propone realizar un nivel cada día y de forma consecutiva:

El nivel 1 (conocimiento) está diseñado para una sesión de dos horas. En este nivel los estudiantes tienen que identificar superficies y vértices en las vistas ortográficas y axonométricas de un objeto virtual tridimensional, que se crea en la marca fiducial general asociada al libro.

El nivel 2 (comprensión) también debe completarse en dos horas. En este nivel, los alumnos tienen que identificar las vistas ortográficas de los modelos tridimensionales virtuales.

El nivel 3 (aplicación-análisis) está dedicado a la identificación de la relación espacial entre los objetos. Esto se lleva a cabo mediante ejercicios de "recuento", en los que se pide a los estudiantes que identifiquen cuántos objetos están en contacto con uno seleccionado. También hay ejercicios sobre la selección del número mínimo de vistas para definir completamente un objeto. Se espera que este nivel se complete en dos horas.

El nivel 4 (síntesis) tiene una dificultad mayor que los niveles anteriores. Hay ejercicios en los que los estudiantes tienen que esbozar la vista ortográfica que falta, conociendo dos vistas ortográficas de un modelo. En una segunda etapa de este nivel, utilizando el modelo virtual como única entrada, tienen que esbozar todas las vistas ortográficas. La duración de esta cuarta sesión de entrenamiento es también de dos horas.

La última sesión del curso (evaluación) sirve para evaluar el avance de conocimiento y habilidad adquirida. Los ejercicios del nivel 5 son los más difíciles para los estudiantes, ya que requieren un mayor nivel de habilidad espacial. Se proponen tres vistas ortográficas de cada objeto, y tienen que construir en su mente el modelo tridimensional correspondiente y luego dibujar una perspectiva a mano alzada del mismo. Los alumnos disponen de una hora para realizar los seis ejercicios, sin ayuda del modelo virtual.



Todas las actividades y toma de datos se realizaron en las aulas y laboratorios de la universidad para tener un mayor control de la investigación.

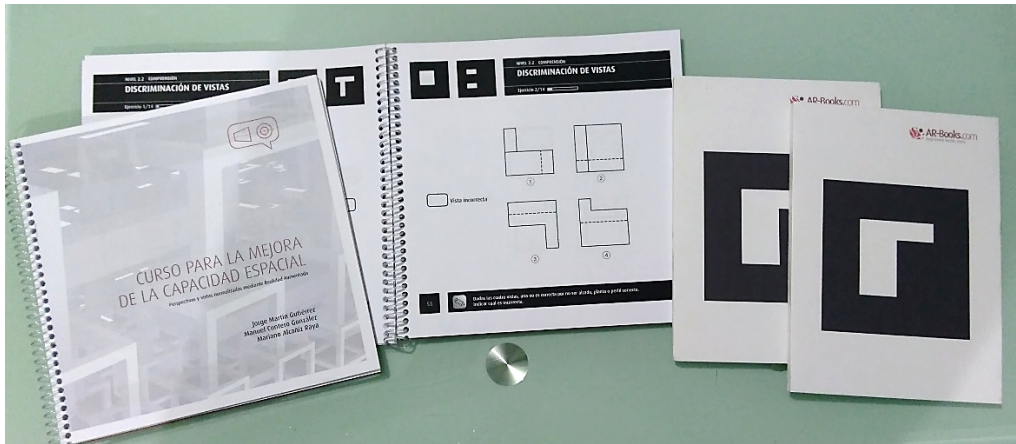


Figura 3: Libro Aumentado y marca fiducial.  
Fuente: elaboración propia

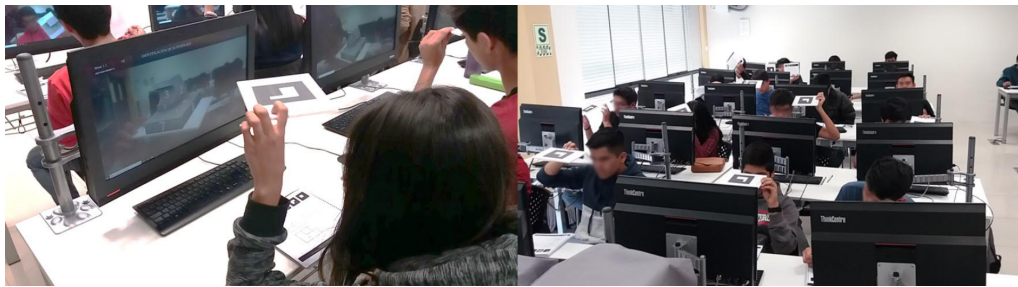


Figura 4: Estudiantes utilizando el libro aumentado para entrenar las habilidades espaciales.  
Fuente: elaboración propia

### III. Resultados

Para el análisis estadístico de los datos, se utilizó el software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS V.25). La tabla 1 muestra los datos descriptivos de los grupos objeto de estudio antes del entrenamiento.

Grupo	Pre-MRT Valor medio (SD)	Pre-DAT Valor medio (SD)
Población total (N=134)	17.01 (7.46)	24.51 (8.27)
Grupo experimental (n=31)	18.52 (7.80)	26.42 (7.47)
Grupo de control (n=31)	16.00 (7.46)	22.94 (8.14)

Tabla 1. Valores medios y desviación estándar de la población y muestras de estudio antes del entrenamiento.

Fuente: elaboración propia

### a. Análisis de las muestras

El primer análisis trató de comprobar si los datos recopilados de las pruebas de medición antes de la experiencia para las muestras de grupo experimental y control seguían una distribución normal. Con el objeto de determinar si los grupos experimental y de control eran homogéneos según sus niveles de habilidad espacial, y si eran representativos de la población de estudio (todos los estudiantes de primer curso de ingeniería civil) se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (para muestras de más de 50 personas) y la prueba de Shapiro-Wilk (para muestra de menos de 50 personas) y con ello se comprueba la normalidad de cada muestra. La Tabla 2, muestra que los datos del DAT5-SR, siguen una distribución normal en las tres muestras; mientras que los datos de MRT, no siguen una distribución normal. Esto implica que los datos del DAT5-SR que siguieron una distribución normal ( $p\text{-valor} > 0.05$ ) fueran analizados utilizando la técnica estadística paramétrica ANOVA y para los datos del MRT que no siguieron una distribución normal ( $p\text{-valor} < 0.05$ , excepto en grupo de control) se analizaran con técnicas estadísticas no paramétricas de Kruskal-Wallis.

Test	Grupos	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
		F	gl	Sig.	F	gl	Sig.
MRT	Población total (N=134)	.089	134	.011			
	Grupo experimental (n=31)				.908	31	.012
	Grupo de control (n=31)				.937	31	.069
DAT5-SR	Población total (N=134)	.070	134	.200(*)			
	Grupo experimental (n=31)				.972	31	.573
	Grupo de control (n=31)				.981	31	.828

Tabla 2. Prueba de normalidad (Población total, grupos experimental y de control)

\* Mayor de este valor.

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, no hubo diferencias significativas en los niveles que disponen los grupos experimental y control antes del entrenamiento espacial ( $F_{2,131} = 1.432$ ,  $P\text{-valor} = 0.241$  en DAT-5: SR y  $F_{2,131} = 0.893$ ,  $p\text{-valor} = 0.411$  en MRT). Los resultados indican que no existe diferencia significativa ( $> 0.05$ ) entre los valores medios de los grupos muestrales grupo experimental y control, por lo que son estadísticamente equivalentes en MRT y DAT5-SR al inicio de este estudio.

### b. Análisis de la mejora de Habilidad Espacial

La Tabla 3 muestra los estadísticos descriptivos de las pruebas antes y después del entrenamiento, y la ganancia obtenida por los grupos experimental y control, además de resultados desglosados por género.

Grupo	Sexo	Pre-MRT	Post-MRT	Ganancia MRT	Pre-DAT	Post-DAT	Ganancia DAT
Grupo experimental (n=31)	Hombres (n=19)	19.47 (8.18)	28.00 (8.58)	<b>8.53 (8.52)</b>	24.58 (7.09)	38.74 (6.43)	<b>14.16 (6.36)</b>
	Mujeres (n=12)	17.00 (7.23)	21.58 (8.65)	<b>4.58 (5.40)</b>	29.33 (7.41)	40.67 (6.44)	<b>11.33 (4.46)</b>
	Total (n=31)	18.52 (7.80)	25.52 (9.04)	<b>7.00 (7.62)</b>	26.42 (7.47)	39.48 (6.40)	<b>13.06 (5.79)</b>
Grupo de Control (n=31)	Hombres (n=21)	17.14 (8.22)	19.05 (7.89)	<b>1.90 (1.41)</b>	21.33 (7.66)	23.14 (7.06)	<b>1.81 (1.57)</b>
	Mujeres (n=10)	13.60 (5.06)	16.90 (2.92)	<b>3.30 (2.36)</b>	26.30 (8.49)	28.00 (6.73)	<b>1.70 (2.11)</b>
	Total (n=31)	16.00 (7.46)	18.35 (6.72)	2.35 (1.85)	22.94 (8.14)	24.71 (7.23)	1.77 (1.72)

Tabla 3. Datos por género: puntuaciones medias antes y después del entrenamiento y aumento de la puntuación (desviación estándar)

Fuente: elaboración propia

Se realizó la prueba ANOVA para el análisis de varianza de un factor para los valores de ganancia en ambos grupos, del componente DAT5-SR ( $F_{1,60}=108.235$  p-valor=0.000) y la prueba Kruskal-Wallis para el componente MRT ( $\chi^2= 9.494$  p-valor=0.002). En ambos casos se determinó que sí hay diferencia significativa, lo que permite afirmar que intervención realizada mediante el entrenamiento ha mejorado ambos componentes de la Capacidad Espacial.

Del mismo modo para ambos grupos experimental y control, se realizó la prueba ANOVA para el componente DAT5-SR, y la prueba Kruskal-Wallis para el componente MRT teniendo en cuenta la variable género, obteniendo como resultado p-valores > 0.05 ( $F_{1,29}=1.797$  p-valor=0.191 y  $\chi^2=0,661$  p-valor=0.416). Por lo tanto, se puede afirmar que con este entrenamiento, ambos componentes, rotaciones espaciales y visualización espacial, mejoran por igual en hombres y mujeres.

### c. Análisis de la mejora del rendimiento académico

En esta sección se analizó si existía diferencia significativa entre los grupos experimental y control en el resto de las asignaturas relacionadas con STEM (Dibujo, Física, Calculo y Algebra) y que los estudiantes cursaron durante el primer año en la titulación. Hay que tener en cuenta que ambos grupos de partida eran similares (estudio de normalidad, Tabla 1). Tras realizar el entrenamiento de mejora de habilidades espaciales, los estudiantes cursaron el resto de las asignaturas, de modo que lo único que diferencia a ambos grupos es que uno realizó el entrenamiento de mejora de habilidades espaciales y el otro no.

Se analizó la existencia de diferencias en las calificaciones obtenidas por ambos grupos en cada una de las asignaturas. La tabla 4 muestra los datos descriptivos de las calificaciones sobre 20 puntos que cada grupo obtuvo en cada una de las asignaturas.

Grupo	Dibujo Técnico y CAD	Física	Cálculo	Álgebra Lineal
Grupo experimental (n=31)	13.08 (2.15)	12.48 (1.71)	13.72 (1.95)	13.05 (2.08)
Grupo de control (n=31)	10.84 (2.08)	10.30 (1.55)	12.25 (1.43)	11.88 (2.08)

Tabla 4. Datos descriptivos en las asignaturas STEM al finalizar el semestre  
Fuente: elaboración propia

Se realizó la prueba T-Student para muestras independientes, con objeto de comparar las calificaciones de cada asignatura en ambos grupos. Los resultados que se muestran en tabla 5 indican que existe diferencia estadística significativa en todos los casos ( $p$ -valor  $< 0.05$ ), es decir, el grupo experimental que realizó un entrenamiento para mejorar las habilidades espaciales obtiene de forma significativa mejores calificaciones en todas las asignaturas (Dibujo, Física, Calculo y Algebra). Por tanto, podemos afirmar que el grupo experimental ha obtenido un mayor rendimiento académico en el semestre académico como consecuencia de realizar un entrenamiento para mejorar las habilidades espaciales.

Asignatura	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
						Superior	Inferior
Dibujo	4.165	60	<b>0.000</b>	2.23871	0.53752	1.16352	3.31390
Física	5.259	60	<b>0.000</b>	2.17839	0.41423	1.34981	3.00696
Cálculo	3.390	60	<b>0.001</b>	1.47323	0.43456	0.60397	2.34248
Álgebra	2.221	60	<b>0.030</b>	1.17419	0.52859	0.11686	2.23152

Tabla 5. Comparación de calificaciones obtenidas por los grupos experimental y control en cada asignatura (Prueba T-Student)  
Fuente: elaboración propia

#### IV. Discusión

A pesar de lo ampliamente estudiadas que han sido las habilidades espaciales, aún queda mucho que aprender e investigar sobre ellas y su influencia en las ramas de ingeniería y arquitectura. Los resultados que hemos encontramos en este estudio debería ayudarnos a convencer a las comunidades universitarias del beneficio que conlleva realizar un entrenamiento de las habilidades espaciales de forma obligatoria en el primer semestre académico. La capacidad espacial poco desarrollada actúa como una barrera para el éxito en titulaciones de ciencias e ingeniería (Wai et al., 2009) y es por ello que sería deseable que se pudieran incorporar actividades para su desarrollo en los planes de estudio.

El nivel de habilidades espaciales con las que los estudiantes ingresan a estudiar la carrera de ingeniería es bajo comparado con estudios internacionales longitudinales (S. A. Sorby, 2009). Esto

se puede deber a que en los contextos latinoamericanos y en específico el peruano, no se ha tomado acciones para desarrollar competencias y habilidades en los estudiantes del colegio secundario interesados en incurrir en el campo STEM y tampoco de los de reciente ingreso a la universidad (Gómez-Tone, 2019).

El material para realizar el entrenamiento propuesto en este artículo ha demostrado ser un método viable, de corta duración y de poca demanda presupuestal para desarrollar las habilidades espaciales en los estudiantes que acceden a la universidad e igualmente puede ser viable para estudiante de últimos años de enseñanza secundaria y bachillerato.

La mejora importante de los subcomponentes relaciones espaciales y visualización espacial obtenida por el grupo experimental se alinea con otras investigaciones (Baenninger y Newcombe, 1989) que muestran alta efectividad con entrenamientos de corta duración y que para medios como el latinoamericano puede ser de mucha utilidad puesto que se pueden equiparar los niveles de Habilidades Espaciales en estudiantes universitarios de primer año la semana previa o la primera semana de inicio de los estudios universitarios sin afectar la carga académica de los estudiantes.

Los resultados muestran que los grupos de control tienen una puntuación mayor en los post-test con respecto al pre-test, aunque la diferencia no es significativa. Esta diferencia, de mejora está documentada, siendo consecuencia del efecto recuerdo del test reportada en otras investigaciones (Martín-Gutiérrez et al., 2013), ya que durante el post-test, el individuo ya conoce el tipo de tarea que debe realizar, y por tanto puede ser más rápido para contestar.

Los estudiantes del grupo experimental manifestaron verbalmente su satisfacción con el uso de la aplicación y el diseño del libro interactivo. Los profesores percibieron que los estudiantes podían trabajar de forma autónoma y en general no se requirió intervenir para ayudar a los estudiantes durante el entrenamiento. Sin embargo, se debe aclarar que en general se lograrán ventajas y beneficios pedagógicos con la realidad aumentada una vez superada la disponibilidad de recursos, la planificación de las clases y la formación inicial del profesorado (Sáez-López et al., 2020). El desarrollo profesional de alta calidad es crucial para proporcionar los conocimientos y habilidades necesarios para el uso eficaz de la realidad aumentada en la educación STEM y para contrarrestar la resistencia de los profesores (Sirakaya y Alsancak Sirakaya, 2020).

Las mejores notas obtenidas por el grupo experimental al finalizar el semestre académico de cuatro cursos STEM como Dibujo, Física, Calculo y Algebra demuestran que el entrenamiento de las habilidades espaciales influye positivamente en el rendimiento académico y que probablemente también lo hagan en su éxito universitario (Burton y Dowling, 2009 y Potter et al., 2006).

## V. Conclusiones

En esta investigación se ha propuesto un entrenamiento directo y de corta duración para mejorar la habilidad espacial en estudiantes de ingeniería considerando las dos componentes que conforman esta habilidad, las "Relaciones espaciales" y la "Visualización espacial" y que es la estructura mayormente aceptada en el ámbito de ingeniería. El entrenamiento se ha basado en el uso de la tecnología de Realidad Aumentada, integrada a través de un libro didáctico de ejercicios prácticos. El entrenamiento ha causado una mejora estadística significativa para ambos componentes. Esta conclusión se basa en la ganancia encontrada en los test MRT y DAT5-SR aplicados al grupo experimental antes y después del entrenamiento. El grupo de control no experimentó mejora significativa. Estos hallazgos están alineados con los resultados de investigación similares (Martín-Gutiérrez et al., 2010, Roca-González et al., 2017 y Šafhalter et al., 2020)

Finalmente, la investigación también ha permitido concluir que la mejora de las habilidades espaciales es determinante en el mayor rendimiento académico en otras las asignaturas del primer año de estudios además del Dibujo Técnico, como Física, Cálculo y Álgebra Lineal. Esta conclusión se basa en las mejores calificaciones finales encontradas en el grupo experimental que recibió el entrenamiento comparado con el grupo control que no lo recibió y se alinea con otras investigaciones que han establecido la correlación entre el nivel de habilidades espaciales y el rendimiento de los estudiantes en los cursos introductorios de STEM (S. Sorby et al., 2014).

Consideramos que este estudio se podría extender de manera longitudinal en varios semestres, con el objeto de analizar la retención en la titulación, y también se podría ejecutar en niveles pre-universitarios con el objetivo de analizar la reducción de la brecha de género que otros estudios han demostrado y su relación con los logros en el aprendizaje de STEM (Stieff y Uttal, 2015; Wai et al., 2009).

Finalmente creemos importante conocer en investigaciones futuras las causas de las diferencias de los niveles de habilidad espacial (acceso a la tecnología, hábitos de entretenimiento, entorno social, etc.) y los beneficios de la creación de material didáctico teórico y práctico siguiendo la filosofía de este entrenamiento y la Realidad Aumentada.

## Agradecimientos

Nuestro más sincero agradecimiento a los estudiantes de la Universidad Católica San Pablo de Arequipa (Perú) por su generosa y desinteresada participación en este estudio.

## Referencias

- Acevedo, D., Torres, J. D., y Jiménez, M. J. (2015). Factores Asociados a la Repetición de Cursos y Retraso en la Graduación en Programas de Ingeniería de la Universidad de Cartagena, en Colombia. *Formación universitaria*, 8(2), 35-42.
- Alvarez, F. J. A., Parra, E. B. B., y Montes Tubio, F. (2017). Improving graphic expression training with 3D models. *Journal of Visualization*, 20(4), 889-904. <https://doi.org/10.1007/s12650-017-0424-8>
- Arrieta, I., y Medrano, M. C. (2015). Un Análisis de la Capacidad Espacial en Estudios de Ingeniería Técnica. *PNA*, 9(2).
- Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., y MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE computer graphics and applications*, 21(6), 34-47.
- Baenninger, M., y Newcombe, N. (1989). The role of experience in spatial test performance: A meta-analysis. *Sex roles*, 20(5-6), 327-344.
- Barfield, W. (2015). *Fundamentals of wearable computers and augmented reality*. CRC press.
- Bennett, G. K., Seashore, H. G., y Wesman, A. G. (1947). *The Differential Aptitude Tests* (Spanish Of, Vol. 35). TEA Ediciones. <https://doi.org/10.1002/j.2164-4918.1956.tb01710.x>
- Buckley, J., Seery, N., y Canty, D. (2019). Spatial cognition in engineering education: Developing a spatial ability framework to support the translation of theory into practice. *European Journal of Engineering Education*, 44(1-2), 164-178. <https://doi.org/10.1080/03043797.2017.1327944>
- Burton, L. J., y Dowling, D. G. (2009). Key factors that influence engineering students' academic success: A longitudinal study. *Proceedings of the Research in Engineering Education Symposium (REES 2009)*, 1-6.

- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities. A survey of factor-analytic studies*. Cambridge University Press.
- Charles, S., Jaillet, A., Peyret, N., Jeannin, L., y Rivière, A. (2020). Exploring the relationship between spatial ability, individual characteristics and academic performance of first-year students in a French engineering school. *SEFI 47th Annual Conference: Varietas Delectat... Complexity is the New Normality, Proceedings*, 235-248.
- Duesbury, R. T., y O'Neil Jr, H. F. (1996). Effect of type of practice in a computer-aided design environment in visualizing three-dimensional objects from two-dimensional orthographic projections. *The Journal of Applied Psychology*, 81(3), 249-260.
- Gómez-Tone, H. C. (2019). Impacto de la Enseñanza de la Geometría Descriptiva usando Archivos 3D-PDF como Entrenamiento de la Habilidad Espacial de Estudiantes de Ingeniería Civil en el Perú. *Formación universitaria*, 12(1), 73-82. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062019000100073>
- Gómez-Tone, H. C., Martín-Gutiérrez, J., Valencia Anci, L., y Mora Luis, C. E. (2020). International comparative pilot study of spatial skill development in engineering students through autonomous augmented reality-based training. *Symmetry*, 12(9), 1401.
- Hegarty, M., y Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32(2), 175-191.
- Ibáñez, M.-B., y Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers y Education*, 123, 109-123.
- Larsen, Y. C., Buchholz, H., Brosda, C., y Bogner, F. X. (2011). Evaluation of a portable and interactive augmented reality learning system by teachers and students. *Augmented Reality in Education*, 2011, 47-56.
- Linn, M. C., y Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. En *Child Development* (Vol. 56, Número 6, pp. 1479-1498). Blackwell Publishing. <https://doi.org/10.2307/1130467>
- Lohman, D. F. (1996). Spatial ability and g. En *Human abilities: Their nature and measurement*. (pp. 97-116). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Lubinski, D. (2010). Spatial ability and STEM: A sleeping giant for talent identification and development. *Personality and Individual Differences*, 49(4), 344-351.
- Martín Gutiérrez, J., Contero González, M., y Alcañiz Raya, M. (s. f.). *Curso para la mejora de la capacidad espacial—Ldelibros*. Recuperado 5 de mayo de 2021, de <https://www.ldlibros.com/catalogo-libros-ldelibros/245/Curso-para-la-mejora-de-la-capacidad-espacial>
- Martin-Gutiérrez, J., Garcia-Dominguez, M., González, C. R., y Correduegas, M. C. M. (2013). *Using different methodologies and technologies to training spatial skill in Engineering Graphic subjects*. <https://doi.org/10.1109/FIE.2013.6684848>
- Martín-Gutiérrez, J., Gil, F. A., Contero, M., y Saorín, J. L. (2013). Dynamic three-dimensional illustrator for teaching descriptive geometry and training visualisation skills. *Computer Applications in Engineering Education*, 21(1), 8-25. <https://doi.org/10.1002/cae.20447>
- Martín-Gutiérrez, J., y González, M. M. A. (2016). Ranking and predicting results for different training activities to develop spatial abilities. En *Visual-spatial Ability in STEM Education: Transforming Research into Practice*. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-44385-0\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-44385-0_11)
- Martín-Gutiérrez, J., y Meneses Fernández, M. D. (2014). Applying augmented reality in engineering education to improve academic performance y student motivation. *The International journal of engineering education*, 30(3), 625-635.
- Martín-Gutiérrez, J., Saorín, J. L., Contero, M., Alcañiz, M., Pérez-López, D. C., y Ortega, M. (2010). Design and validation of an augmented book for spatial abilities development in engineering students. *Computers y Graphics*, 34(1), 77-91.

- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. En *Psychological Bulletin* (Vol. 86, Número 5, pp. 889-918). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.5.889>
- Melgosa Pedrosa, C., Ramos Barbero, B., y Baños García, M. E. (2015). Interactive learning management system to develop spatial visualization abilities. *Computer Applications in Engineering Education*, 23(2), 203-216. <https://doi.org/10.1002/cae.21590>
- Moen, K. C., Beck, M. R., Saltzmann, S. M., Cowan, T. M., Burleigh, L. M., Butler, L. G., Ramanujam, J., Cohen, A. S., y Greening, S. G. (2020). Strengthening spatial reasoning: Elucidating the attentional and neural mechanisms associated with mental rotation skill development. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s41235-020-00211-y>
- Mohler, J. L. (2006). Computer Graphics Education: Where and How Do We Develop Spatial Ability? *Eurographics 2006*, 1-8.
- Potter, C., Van Der Merwe, E., Kaufman, W., y Delacour, J. (2006). A longitudinal evaluative study of student difficulties with engineering graphics. *European Journal of Engineering Education*, 31(2), 201-214. <https://doi.org/10.1080/03043790600567894>
- Roca-González, C., Martín-Gutierrez, J., García-Dominguez, M., y Carrodegua, M. del C. M. (2017). Virtual technologies to develop visual-spatial ability in engineering students. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(2), 441-468. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00625a>
- Roca-Gonzalez, C., Martín-Gutiérrez, J., Mato Corredeguas, C., y García-Domínguez, M. (2014). Training to improve spatial orientation in engineering students using virtual environments. En *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 8526 LNCS* (Número PART 2). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-07464-1\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-07464-1_9)
- Sáez López, J. M., Cózar Gutierrez, R., y Domínguez-Garrido, M.-C. (2018). Realidad aumentada en Educación Primaria: Comprensión de elementos artísticos y aplicación didáctica en ciencias sociales. *Digital Education Review*, 59-75.
- Sáez-López, J. M., Cózar-Gutiérrez, R., González-Calero, J. A., y Gómez Carrasco, C. J. (2020). Augmented reality in higher education: An evaluation program in initial teacher training. *Education Sciences*, 10(2), 26.
- Šafhalter, A., Glodež, S., Šorgo, A., y Ploj Vrtič, M. (2020). Development of spatial thinking abilities in engineering 3D modeling course aimed at lower secondary students. *International Journal of Technology and Design Education*. <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09597-8>
- Samsudin, K., Rafi, A., y Hanif, A. S. (2011). Training in Mental Rotation and Spatial Visualization and Its Impact on Orthographic Drawing Performance. *Journal of Educational Technology y Society*, 14(1), 179-186.
- Sánchez, H., y Reyes, C. (2003). Psicología del aprendizaje en educación superior. Visión Universitaria, Lima.
- Schneider, W. J., y McGrew, K. S. (2012). The Cattell-Horn-Carroll model of intelligence. En *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues*, 3rd ed (pp. 99-144). The Guilford Press.
- Sirakaya, M., y Alsancak Sirakaya, D. (2020). Augmented reality in STEM education: A systematic review. *Interactive Learning Environments*, 1-14.
- Sorby, S. A. (2005). Assessment of a «new and improved» course for the development of 3-D spatial skills. En *Engineering Design Graphics Journal* (Vol. 69, Número 3, pp. 6-13).
- Sorby, S. A. (2007). Developing 3D spatial skills for engineering students. *Australasian Journal of Engineering Education*, 13(1), 1-11.
- Sorby, S. A. (2009). Educational Research in Developing 3-D Spatial Skills for Engineering Students. *International Journal of Science Education*, 31(3), 459-480. <https://doi.org/10.1080/09500690802595839>



- Sorby, S. A., y Baartmans, B. J. (2000). The development and assessment of a course for enhancing the 3-D spatial visualization skills of first year engineering students. *Journal of Engineering Education*, 89(3), 301-307.
- Sorby, S., Nevin, E., Behan, A., Mageean, E., y Sheridan, S. (2014). Spatial skills as predictors of success in first-year engineering. *2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings*, 1-7.
- Stieff, M., y Uttal, D. (2015). How Much Can Spatial Training Improve STEM Achievement? En *Educational Psychology Review* (Vol. 27, Número 4, pp. 607-615). Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9304-8>
- Torner, J., Alpiste, F., y Brigos, M. (2015). Spatial Ability in Computer-Aided Design Courses. *Computer-Aided Design and Applications*, 12(1), 36-44. <https://doi.org/10.1080/16864360.2014.949572>
- Tumkor, S., Aziz, E., Esche, S., y Chassapis, C. (2013). Integration of augmented reality into the CAD process. *Proceedings of the ASEE Annual Conference y Exposition*.
- Veurink, N., Hamlin, A. J., y Sorby, S. (2013). Impact of Spatial Training on " Non-rotators ". *68th Mid-Year Conference, 1978*, 15-22.
- Wai, J., Lubinski, D., y Benbow, C. P. (2009). Spatial Ability for STEM Domains: Aligning Over 50 Years of Cumulative Psychological Knowledge Solidifies Its Importance. *Journal of Educational Psychology*, 101(4), 817-835. <https://doi.org/10.1037/a0016127>
- Wigfield, A., Eccles, J. S., Schiefele, U., Roeser, R. W., y Davis-Kean, P. (2007). Development of Achievement Motivation. En *Handbook of Child Psychology*. John Wiley y Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470147658.chpsy0315>
- Zimmerman, B. J., y Martinez-Pons, M. (1990). Student differences in self-regulated learning: Relating grade, sex, and giftedness to self-efficacy and strategy use. *Journal of Educational Psychology*, 82(1), 51-59. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.82.1.51>