



UNIVERSIDAD DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

**Desarrollo de la Inteligencia Espacial
a través de la Realidad Aumentada en
áreas de conocimiento STEM**

**D. Ginés Morales Méndez
2022**



DEPARTAMENTO DE ELECTROMAGNETISMO Y ELECTRÓNICA

FACULTAD DE EDUCACIÓN

UNIVERSIDAD DE MURCIA

Desarrollo de la Inteligencia Espacial a través de la Realidad Aumentada en áreas de conocimiento STEM

Tesis Doctoral

Presentada por:

D. GINÉS MORALES MÉNDEZ

Dirigida y Tutelada por:

DR. FRANCISCO DEL CERRO VELÁZQUEZ

MURCIA, febrero 2022

Copyright ©2022 Ginés Morales Méndez



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. To view a copy of this license, visit: <http://creativecommons.org/licenses>.

La presente tesis se presenta de acuerdo con el Real Decreto 99/2011, de 28 de enero y el reglamento por el que se regulan las enseñanzas oficiales de doctorado de la Universidad de Murcia (aprobado en Consejo de Gobierno de 27 de enero de 2012 y modificado en Consejos de Gobierno de 26 de julio de 2013, 4 de octubre de 2013, 26 de marzo de 2014, 30 de abril de 2015, 20 de diciembre de 2018 y 15 de marzo de 2019). La tesis cumple con lo indicado en las normativas mencionadas.

Más información en: <https://www.um.es/web/eidum/contenido/normativa>

**PUBLICACIONES ORIGINALES
QUE CONSTITUYEN LA TESIS DOCTORAL**

La tesis doctoral titulada “Desarrollo de la Inteligencia Espacial a través de la Realidad Aumentada en áreas de conocimiento STEM” se presenta en la modalidad de compendio de publicaciones tras obtener un informe favorable de la Comisión de Doctorado del Programa de Educación. Por otro lado, se ha desarrollado bajo el amparo de un proyecto industrial en un Centro de Enseñanza secundaria.

El compendio de publicaciones, lo conforman tres trabajos publicados en revistas indexadas en Journal Citation Report (JCR):

Del Cerro Velázquez, F. & Morales Méndez, G. (2018). Augmented Reality and Mobile Devices: A Binominal Methodological Resource for Inclusive Education (SDG 4). An Example in Secondary Education. *Sustainability*, 10(10), 3446.

DOI: 10.3390/su10103446

JIF 2018: 2075 (Q2)

Del Cerro Velázquez, F. & Morales Méndez, G. (2021a). Application in Augmented Reality for Learning Mathematical Functions: A Study for the Development of Spatial Intelligence in Secondary Education Students. *Mathematics*, 9 (4), 369.

DOI: 10.3390/math9040369

JIF: 2021: 1747 (Q1)

Del Cerro Velázquez, F. & Morales Méndez, G. (2021b). Systematic Review of the Development of Spatial Intelligence through Augmented Reality in STEM Knowledge Areas. *Mathematics*, 9(23), 3067.

DOI: 10.3390/math9233067

JIF: 2021: 2258 (Q1)

*A quién me inspiró y no la leerá,
a mi madre*

*We've come too far
To give up who we are
So let's raise the bar
And our cups to the stars*

Daft Punk's Get Lucky, 2013

DEDICATORIA Y RECONOCIMIENTOS

Han pasado 5 años desde que comenzó este viaje. Tuve que aprender a adaptarme a diferentes contextos, a afrontar dificultades nunca antes vividas, a hacer sacrificios, con un solo objetivo en mi mente: ser doctor. Y aquí estoy, 5 años después, terminando mi tan ansiada tesis. Han cambiado tantas cosas, que casi me cuesta recordar qué era antes y qué es ahora, pero he aprendido que lo verdaderamente importante no es el inicio ni el fin, sino las vivencias adquiridas en este bagaje.

Sin duda, puedo decir que he cambiado, siento que he crecido humana y profesionalmente, y eso me hace sentir muy afortunado. De nada sirve negarlo, a pesar de la perseverancia y tozudez que me distingue, nunca hubiera podido cruzar esta meta solo. Me siento dichoso porque, durante este periplo, me han acompañado personas maravillosas que creyeron en mí e iluminaron mis días.

A la memoria de mi madre, la mujer más fuerte, noble, luchadora y alegre que he conocido. Con su amor incondicional y sacrificio, me permitió iniciar este camino sin jamás quejarse de nada, y que, pese a enfrentarse a su batalla como yo jamás podría, de la más inmerecida de las formas no estará presente en el desenlace. Sé que desde ahí arriba ahora me protege y me señala el camino. Eres mi luz, mi todo, ojalá estuvieras aquí.

A Ana, el destino nos unió en el preámbulo de esta andadura y eres la prueba de que pueden pasar cosas buenas incluso en los momentos más oscuros. Te hiciste parte de mi vida personal y profesional en el momento más difícil para ambos, has creído en mí desde el primer instante, intentando siempre sacar mi mejor versión.

También quiero agradecer a mi fiel labradora Kira, por enseñarme el compañerismo en su más pura expresión, por aguantar largas horas tumbada en mis pies, sin importarle el tiempo, sin pedir, sin esperar nada para sí, únicamente querer estar a mi lado.

Me gustaría mostrar mi agradecimiento a todos mis alumnos y alumnas, quienes me motivan e inspiran con alegría e ilusión, a los anónimos de cuyo trabajo me he beneficiado: personal de la Biblioteca de la Universidad de Murcia, personal de ATICA, a los ponentes de Congresos y a los revisores de revistas de investigación de los que tanto he aprendido y mejorado. Gracias a la Universidad de Murcia y a la Escuela Internacional de Doctorado por la formación recibida y las herramientas brindadas durante estos años.

Por último, quiero agradecer a la persona a la cuál sin duda más debo, a mi tutor y director Francisco del Cerro Velázquez. Si estoy a punto de terminar este fantástico peregrinaje, es porque has caminado a mi lado sin tregua. Durante todos estos años, me has enseñado todo lo que sé del mundo de la investigación, me has ayudado en los momentos más difíciles tanto profesionales como personales, has sido al mismo tiempo, un mentor, un amigo, un padrino. Espero algún día poder devolverte todo lo que me has dado con tanta generosidad.

“No one who achieves success does so without acknowledging the help of others.

The wise and confident acknowledge this help with gratitude”

Alfred North Whitehead

Índice de Tablas	i
Índice de Figuras	ii
Listado de Acrónimos	iii
Resumen	v
Abstract	vi
CAPÍTULO 1. Antecedentes y Contexto de la Investigación	1
1.1.Antecedentes	1
1.2.Realidad Aumentada.....	3
1.3.Inteligencia Espacial	10
1.4.Teorías Cognitivas	15
1.4.1. Teoría de la Carga Cognitiva.....	15
1.4.2. Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia.....	16
1.4.3. Teoría del Aprendizaje con Múltiples Representaciones Externas	18
CAPÍTULO 2. Objetivos y Enfoque Metodológico	19
2.1.Objetivos de la Tesis Doctoral.....	19
2.2.Objetivos Específicos	21
2.3.Metodología y Estructura de la Tesis Doctoral	21
2.4.Justificación de la Unidad Científica.....	23
2.5.Validez interna y externa del estudio	25
2.6.Limitaciones del trabajo	26
CAPÍTULO 3. Contribuciones de la Tesis	27
3.1.Revisión del Estado del Arte	27
3.1.1. Revisión Sistemática de la Literatura	28
3.1.2. Metodología de la RS.....	29
3.1.2.1.Preguntas de Investigación de la RS.....	30
3.1.2.2.Proceso de Búsqueda	31
3.1.2.3.Criterios de Inclusión y Exclusión	32
3.1.2.4.Recopilación de datos	32
3.1.2.5.Análisis de datos	32

3.1.3.	Resultados de la RS.....	33
3.1.4.	Análisis y discusión del estado del arte.....	40
3.1.4.1.	Impacto de la RA en el desarrollo de la inteligencia espacial (PI1)	40
3.1.4.2.	Habilidades espaciales evaluadas mediante el uso de la RA (PI2)	41
3.1.4.3.	Contribuciones de la RA en el aprendizaje de contenidos en áreas de conocimiento STEM (PI3)....	45
3.1.4.4.	Herramientas y recursos en RA para el desarrollo de la inteligencia espacial (PI4).....	48
3.1.4.5.	Limitaciones de la RA en la mejora de la inteligencia espacial (PI5)	49
3.1.5.	Conclusiones del estado del arte	51
3.2.	Diseños Experimentales, Análisis y Resultados.....	53
3.2.1.	Recursos Aumentados Abiertos para una Educación Sostenible.....	53
3.2.1.1.	Motivación.....	53
3.2.1.2.	Materiales y Método	61
3.2.1.3.	Análisis de datos	64
3.2.1.4.	Resultados	65
3.2.1.5.	Discusión	67
3.2.1.6.	Conclusiones Específicas.....	69
3.2.2.	Realidad Aumentada en el estudio de funciones Matemáticas	71
3.2.2.1.	Motivación.....	71
3.2.2.2.	RA como herramienta para el desarrollo de la inteligencia espacial en el aprendizaje de funciones matemáticas.....	72
3.2.2.3.	Metodología	74
3.2.2.4.	Análisis de los resultados.....	80
3.2.2.5.	Discusión	87
3.2.2.6.	Conclusiones Específicas.....	89
3.3.	Conclusiones de la investigación.....	91
3.4.	Prospectiva de la investigación.....	94

CAPÍTULO 4. Publicaciones originales que componen la Tesis Doctoral	97
4.1.Artículo 1.....	98
4.2.Artículo 2.....	99
4.3.Artículo 3.....	100
ÍNDICES DE IMPACTO DE LAS REVISTAS.....	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
APÉNDICES	127

Tabla 3.1 PI relacionadas con la aplicación de la RA en educación STEM y su impacto en la inteligencia espacial del alumnado	31
Tabla 3.2 Criterios de evaluación relacionados con las preguntas de investigación.....	33
Tabla 3.3 Número de artículos publicados por año	35
Tabla 3.4 Número de artículos publicados por país.....	35
Tabla 3.5 Resumen de los hallazgos clave de los estudios seleccionados	36
Tabla 3.6 Beneficios de la RA en el desarrollo de la inteligencia espacial.....	40
Tabla 3.7 Evaluación de las habilidades espaciales	42
Tabla 3.8 Beneficios pedagógicos la RA en el aprendizaje de contenido STEM .45	
Tabla 3.9 Limitaciones la RA en la mejora de la inteligencia espacial	50
Tabla 3.10 Diseño y método de las herramientas de recogida de datos.....	63
Tabla 3.11 Test-t sobre las puntuaciones obtenidas en la prueba escrita	65
Tabla 3.12 Resultados del test Levene y t-test	65
Tabla 3.13 Coeficiente de fiabilidad de consistencia interna para las pruebas diseñadas.....	77
Tabla 3.14 Estadística descriptiva de los resultados obtenidos en la prueba de evaluación inicial	81
Tabla 3.15 T-test de los resultados obtenidos en la prueba evaluación inicial ...	82
Tabla 3.16 Estadística descriptiva de los resultados obtenidos en la prueba de evaluación final	83
Tabla 3.17 T-test de los resultados obtenidos en la prueba de evaluación final	83
Tabla 3.18 Medidas de asociación entre grupos.....	84
Tabla 3.19. Resultados estadísticos descriptivos pretest PSVT: R	84
Tabla 3.20 T-test de los resultados obtenidos en la prueba pretest PSVT: R	85
Tabla 3.21 Resultados estadísticos descriptivos posttest PSVT: R.....	85
Tabla 3.22 T-test de los resultados obtenidos en la prueba posttest PSVT: R.....	86
Tabla 3.23 Medidas de asociación entre grupos para PSVT: R.....	86
Tabla 3.24 Análisis descriptivo de los resultados del cuestionario	87

Figura 1.1 Reality-Virtuality Continuum4

Figura 1.2 Ejemplo de la activación de un marcador en forma de imagen6

Figura 3.1 Diagrama de fases de la RS30

Figura 3.2 Diagrama de flujo del proceso de selección de estudios34

Figura 3.3 MRT pregunta de ejemplo43

Figura 3.4 DAT: SR pregunta de ejemplo43

Figura 3.5 PSVT: R pregunta de ejemplo44

Figura 3.6 Virtuality-Reality Book Continuum54

Figura 3.7 Ficha de trabajo con contenido en RA.....62

Figura 3.8 Aerogenerador tridimensional activado en RA63

Figura 3.9 Calificación de la muestra de estudiantes en la unidad formativa de tecnología mediante el uso de RA y sin RA.....66

Figura 3.10 (a) Interés de los estudiantes en el aprendizaje a través de RA
(b) Facilidad para memorizar contenidos con herramientas de RA.....67

Figura 3.11 Interfaz de Geogebra AR (a) Detección de superficie (b) Introducción y representación de funciones.....73

Figura 3.12 Estudiantes trabajando en el aula durante el desarrollo de la experiencia77

Figura 3.13 Fichas de trabajo con contenido en RA, con código QR de acceso a la aplicación Geogebra AR79

Figura 3.14 Estudiantes en el aula trabajando la intersección gráfica a través de Geogebra AR81

LISTADO DE ACRÓNIMOS

ANOVA	ANalysis Of VAriance
AR	Augmented Reality
CAD	Computer Aided Design
CTIM	Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas
DAT: SR	Differential Aptitude Test: Space Relations
DOI	Digital Object Identifier
DVD	Digital Versatile Disc
EDR	Educational Design Research
EDS	Educación para el Desarrollo Sostenible
EPT	Educación Para Todos
GPS	Global Positioning System
HMD	Head Mounted Display
HMPD	Head Mounted Projective Display
IM	Inteligencias Múltiples
JIF	Journal Impact Factor
MAR	Mobile Augmented Reality
MCT	Mental Cutting Test
MER	Multiple External Representations
MDG	Millennium Development Goal
MR	Mechanical Reasoning
MRT	Mental Rotation Test
MT	Memoria de Trabajo
NASA-TLX	National Aeronautics and Space Administration – Task Load Index
NRC	National Research Council
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OER	Open Educational Resources
OPT	Objective Perspective Test
PI	Pregunta de Investigación
PFT	Paper Folding Test
PSVT: R	Purdue Spatial Visualization Test: Rotations
QR	Quick Response
RA	Realidad Aumentada

REA	Recursos Educativos Abiertos
RS	Revisión Sistemática
SDK	Software Development Kit
STEM	Science, Technology, Engineering and Mathematics
SR	Systematic Review
SUS	System Usability Scale
TCAM	Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia
TCC	Teoría de la Carga Cognitiva
TIC	Tecnologías de la Información y Comunicación
TMA	Topographic Map Assessment
TUI	Tangible User Interface
UN	United Nations
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
VRD	Virtual Retina Display

En la presente tesis doctoral se investigaron los efectos de la Realidad Aumentada (RA) en la mejora de las habilidades espaciales, la carga cognitiva y el aprendizaje en los estudiantes del área de conocimiento STEM. Para ello, se llevaron a cabo una serie de investigaciones en las que se recurrió al empleo de estrategias innovadoras de enseñanza-aprendizaje centradas en el uso de tecnología de RA con el objetivo de mejorar la habilidad espacial de los estudiantes en la comprensión de las denominadas áreas de conocimiento de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (CTIM), más conocidas por su homónimo en inglés STEM.

La inteligencia espacial es esencial para entender y resolver problemas del mundo real, siendo las habilidades visuoespaciales fundamentales en el aprendizaje de distintas asignaturas STEM, como Tecnología, Dibujo Técnico, Matemáticas, etc. Es imprescindible para construir modelos mentales de los objetos o representaciones gráficas a partir de expresiones algebraicas, diseños bidimensionales o descripciones orales. Hay que tener en cuenta que la inteligencia espacial no es una capacidad innata, sino una habilidad dinámica y maleable que puede ser potenciada mediante la interacción con objetos reales y/o virtuales. Esta capacidad se puede enaltecer aplicando las nuevas tecnologías como la RA, capaz de ilustrar procedimientos de las áreas de conocimiento STEM a través de imágenes, gráficos, vídeos y objetos tridimensionales, que ayudan considerablemente a los estudiantes a visualizar, comprender y dominar conceptos en los que predomina una alta carga visual.

A través de cada uno de estos estudios de caso de prácticas innovadoras, verificamos y valoramos la relación intrínseca que existe como hipótesis entre el impacto de las aplicaciones didácticas basadas en estos recursos TIC emergentes centradas en el binomio RA-dispositivos móviles y el desarrollo de la inteligencia espacial en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Los resultados muestran una relación significativa entre las habilidades espaciales y el nivel de logro de aprendizaje de los estudiantes en áreas de conocimiento STEM. Se puede concluir que la incorporación de RA en entornos educativos tuvo un impacto positivo y compensatorio, sobre todo en los estudiantes que partían con una baja inteligencia espacial.

Palabras Clave: Realidad Aumentada, Inteligencia Espacial, CTIM, STEM

In this doctoral thesis, the effects of Augmented Reality (AR) in improving spatial skills, cognitive load and learning in students in the STEM area of knowledge were investigated. For this, a series of investigations were carried out in which the use of innovative teaching-learning strategies focused on the use of AR technology was carried out with the aim of improving the spatial ability of students in understanding the so-called areas of knowledge of Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM).

This study investigates the effects of Augmented Reality (AR) in improving spatial skills, cognitive load and learning in students in the STEM area of knowledge. For this, a series of investigations have been carried out in which the use of innovative teaching-learning strategies focused on the use of AR technology has been used with the aim of improving the spatial ability of students in understanding the so-called areas of knowledge of Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM).

Spatial intelligence is essential to understand and solve real-world problems, being fundamental visuospatial skills in learning different STEM subjects, such as Technology, Technical Drawing, Mathematics, etc. It is essential to build mental models of objects or graphic representations from algebraic expressions, two-dimensional drawings or oral descriptions. It must be taken into account that spatial intelligence is not an innate ability, but rather a dynamic and malleable ability that can be enhanced through interaction with real and/or virtual objects. This ability can be enhanced by applying new technologies such as AR, capable of illustrating procedures in the areas of STEM knowledge through images and graphics, which considerably help students to visualize, understand and master concepts in which a high visual load predominates.

Through each of these case studies of innovative practices, we verify and assess the intrinsic relationship that exists as a hypothesis between the impact of educational applications based on these emerging ICT resources focused on the AR-mobile device binomial and the development of the spatial intelligence in teaching-learning processes. The results show a significant relationship between spatial skills and the level of student learning achievement in STEM knowledge areas. It can be concluded that the incorporation of AR in educational settings had a positive and compensatory impact, especially in students who started with low spatial intelligence.

Keywords: Augmented Reality, Spatial Intelligence, STEM.

CAPÍTULO
1

ANTECEDENTES Y
CONTEXTO DE LA
INVESTIGACIÓN

En este primer capítulo se realiza una descripción del contexto y el marco teórico referencial de la presente memoria de tesis doctoral por compendio, justificando que la problemática es digna de estudio.

1.1 Antecedentes

En la enseñanza de las disciplinas académicas STEM es esencial el desarrollo de las habilidades espaciales de los estudiantes para el aprendizaje de determinados contenidos con alta carga visual (Kaufman y Schmalstieg, 2003; del Cerro y Morales, 2017; del Cerro y Lozano, 2019). Dentro de los contenidos educativos, estas habilidades tienen multitud de cometidos, entre otros, la concepción y construcción de modelos espaciales, el análisis de objetos geométricos, la interpretación de diagramas y la identificación de funciones (del Cerro y Morales, 2021a).

La importancia de la inteligencia espacial ha sido demostrada por investigadores que examinaron el rendimiento de los estudiantes en relación con sus habilidades espaciales (Battista, 1990; Clements y Battista, 1992; Maier, 1996; Olkun, 2003). El Consejo Nacional de Investigación estadounidense NRC (2006) afirma que la

inteligencia espacial es un elemento clave para el éxito en el razonamiento y la resolución de problemas. De hecho, las personas tratan de forma rutinaria en su día a día con información espacial cuando: dan indicaciones de algún lugar, describen las características visuales de algún objeto, representan cualquier figura de forma gráfica o reproducen mentalmente objetos que han observado con anterioridad, entre otros muchos ejemplos (Galati y Avraamides, 2012). En otras palabras, la inteligencia espacial involucra habilidades que son útiles en la vida real para contextos como la movilidad, la navegación o la alfabetización visual. Sin embargo, aunque existen determinados contenidos académicos en educación secundaria y superior vinculados con las habilidades espaciales en el área de conocimiento STEM que pretenden desarrollar la inteligencia espacial de los estudiantes, estos conceptos se representan tradicionalmente en libros de texto mediante proyecciones bidimensionales de figuras.

Hoy en día, con el fin de proporcionar entornos de aprendizaje significativos, se tiende a emplear una interfaz usuario-máquina lo más amigables e intuitivas posibles. Son cada vez más los investigadores de tecnología educativa que tienden a emplear aplicaciones cercanas a la vida real basadas en entornos virtuales con un conjunto de controles y canales sensoriales que aporten un alto grado de usabilidad e interactividad. En este sentido, las tecnologías emergentes pueden ser útiles para proporcionar aplicaciones de conceptos abstractos en áreas de conocimiento STEM. Una de estas tecnologías es la Realidad Aumentada RA que permite a los usuarios experimentar su entorno superponiendo objetos virtuales al mundo real. Con la ayuda de la RA, tanto los estudiantes como los docentes tienen la oportunidad de trabajar directamente con objetos virtuales en el mundo real. Al trabajar con objetos virtuales, las relaciones espaciales exteriores e interiores de los objetos se pueden realizar y comprender de manera más y eficaz que con los métodos convencionales (Kaufmann, 2004).

En este contexto, y previamente a la realización de esta memoria, realicé diferentes experiencias en el aula a través de la RA de las que derivó la presente tesis doctoral. Entre estas experiencias se encuentra mi trabajo fin de máster donde se analizaron y establecieron estrategias para la incorporación de la RA a los procesos educativos de educación secundaria (Morales, 2014); y un artículo científico en el que se diseñaron materiales aumentados (Apéndice A) con el objetivo de que los estudiantes que partían con habilidades visuoespaciales bajas y rendimiento académico inferior, pudieran adquirir y afianzar el aprendizaje de

contenidos altamente visuales vinculados con la expresión gráfica en la asignatura de tecnología (Del Cerro y Morales, 2017).

Como proyección de mis investigaciones, mis aprendizajes y mis trabajos previos publicados, deriva la motivación de la presente tesis que se centra en diseñar, desarrollar e implementar herramientas de aprendizaje en RA para la mejora del aprendizaje de contenidos altamente visuales en áreas de conocimiento STEM y mejorar las habilidades espaciales de los estudiantes.

1.2 Realidad Aumentada

La Realidad Aumentada (RA) es un concepto tecnológico relativamente nuevo, al que se hizo mención por primera vez en 1965 cuando Ivan Sutherland desarrolló un dispositivo tipo Head Mounted Display (HMD), que hizo posible superponer imágenes virtuales en el mundo real. La RA es una técnica que consiste en añadir información virtual sobre un escenario real (Caudell y Mizell, 1992), siendo esta la definición más breve que se puede dar a esta tecnología. No obstante, podemos completar la definición de este término, diciendo que la RA es un proceso que se realiza en tiempo real en función de lo que captura la cámara de un dispositivo, estableciendo una relación espacial entre la información virtual y su entorno real. Los elementos esenciales necesarios para poder visualizar contenido en RA consisten en un ordenador o un dispositivo móvil, que incorporen cámara y un programa o aplicación que ejecute e interprete la RA.

Es necesario aclarar que cuando se habla de información adicional o virtual añadida sobre entornos reales, se hace referencia a cualquier tipo de información que pueda ser digitalizada, como es el caso de textos, imágenes, vídeos, audios, enlaces web, modelos 3D, etc.

En la actualidad existen dos definiciones aceptadas de RA:

- i. Milgram et al. (1995) diseñaron una escala continua que va desde el entorno real hasta el entorno virtual llamada Reality-Virtuality Continuum. Al área comprendida entre los dos extremos donde se combinan el “Real Environment” y el “Virtual Environment” denominándose “Mixed Reality”, como se muestra en la Figura 1.1. Dentro de esta escala, se distingue entre una “Augmented Reality”, en la

que se incorporan elementos virtuales a un entorno real, y la “Augmented Virtuality”, en la que se incorporan elementos reales a un entorno virtual.

- ii. En 1997, Ronald Azuma, determinó los requisitos que debe de cumplir un sistema para ser considerado RA: debe combinar objetos reales y virtuales en un entorno real, funcionar de forma interactiva y en tiempo real, y vincular objetos virtuales superponiéndolos a marcadores o activadores reales.

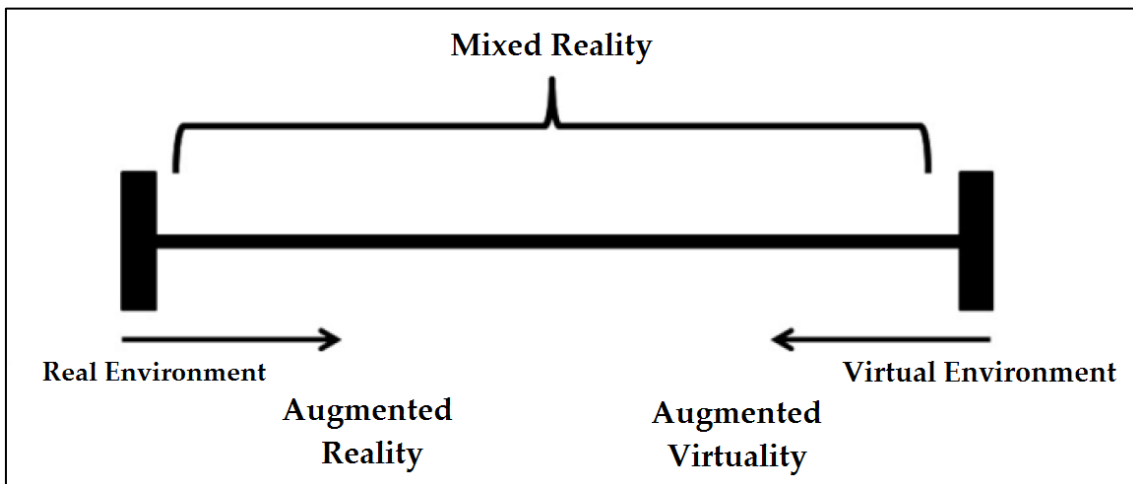


Figura 1.1. Reality-Virtuality Continuum

Otros autores definieron la RA como una tecnología que hace posible generar entornos virtuales que se superponen en un ambiente real de una forma directa o indirecta, permitiendo esta técnica la interacción de la realidad con la visualización de gráficos virtuales (Zhou et al., 2008). Esto significa que la RA tiene la capacidad de llenar el vacío existente entre lo real y el mundo virtual de una manera perfecta, siendo esta funcionalidad, en particular, una de las características que hacen que sea posible la aplicación de esta técnica en una amplia gama de actividades humanas, destacando entre todas ellas la educación (Lee, 2012; Prendes, 2015; Schmalsteig y Höllerer, 2016).

Generalmente, la superposición de la información en el mundo real está básicamente dirigida a mejorar la percepción que tiene un individuo del mundo real, iniciando de este modo la creación de una experiencia interactiva. Por ello, la característica fundamental de la RA consiste en añadir más información y, por lo tanto, más significado a los objetos o lugares reales (Chang et al., 2010; Baldiris et al., 2016; Olesky y Wnuk, 2016; Jeong y Yoon, 2017), mejorando de esta forma la comprensión del mundo que estamos observando.

En cuanto a los detalles técnicos de la RA, una revisión bibliográfica de Van Krevelen y Poelman (2010) señaló los componentes más reseñables de los sistemas de RA, como son: las pantallas, la activación, el software en RA y la interfaz de usuario. Las pantallas de RA son uno de los componentes más importantes de estos sistemas y, de acuerdo a los anteriores autores, hay tres formas de presentar visualmente la RA a través de: video translucido, óptica translucida y pantallas proyectivas. Las interfaces translucidas de video se crean alterando digitalmente una vídeo capturado por la cámara y aumentando los objetos virtuales. Las pantallas ópticas translucidas son las más comunes, dejan intacta la resolución del mundo real mientras aumentan los objetos virtuales sobre ella. Las pantallas proyectivas son el último tipo de pantallas visuales y no requieren otros dispositivos para su visualización como móviles o gafas, y pueden cubrir grandes superficies para un amplio campo de visión.

Las pantallas de RA también se pueden clasificar en tres categorías según su posición entre el espectador y el entorno real: cabeza, manos y espacial (Van Krevelen y Poelman, 2010). Los dispositivos de visualización RA que se colocan en la cabeza incluyen pantallas de vídeo internas (HMD), pantallas de retina virtual (VRD) y pantallas proyectivas montadas en la cabeza (HMPD). Las pantallas RA más extendidas y usadas son la de los dispositivos móviles, además es la forma más rentable de introducir comercialmente la RA. Las pantallas espaciales son la última categoría de pantallas visuales de RA y, a menudo, se colocan de forma estática dentro del entorno.

Los sistemas de activación en RA son esenciales ya que se necesita conocer la posición del usuario en relación con su entorno para crear un área precisa para la representación 3D. Los sistemas de seguimiento pueden estar basados en sensores, imágenes o ser híbridos. Los sistemas basados en sensores pueden ser mecánicos, ultrasónicos, magnéticos, basados en sistemas de posicionamiento global (GPS), en señales de radiofrecuencia o inerciales. Los activadores basados en imágenes se centran en el reconocimiento de un marcador en forma de figura, representación, código QR o imagen y se utiliza como punto de referencia para superponer la posición del objeto que se va a aumentar, este es el tipo de marcador que se utilizará en este estudio de investigación (Figura 1.2).



Figura 1.2. Ejemplo de la activación de un marcador en forma de imagen

Los marcadores activables a través de imágenes, rastrean en los ejes X, Y y Z del sistema de coordenadas cartesianas y aumentan los objetos virtuales sobre el marcador real. Van Krevelen y Poelman (2010) señalaron que existe un interés elevado en la investigación sobre la RA sin marcadores o markerless para rastrear posiciones físicas en entornos del mundo real. Los sistemas de activación híbridos utilizan una combinación de las características de los marcadores basados en sensores e imágenes.

Hay innumerables aplicaciones de RA, los autores anteriores las categorizaron de la siguiente manera: aplicaciones que se enfocan en dispositivos móviles, aplicaciones industriales y militares, aplicaciones médicas, entretenimiento, aplicaciones de oficina y educación.

Las interfaces de usuario en RA son numerosas e incluyen, entre otras: interfaz de usuario tangible (TUI), apuntar con la cámara del dispositivo en un entorno 3D, interfaz de usuario háptica, reconocimiento de gestos, seguimiento de la mirada, interfaz de usuario auditiva y reconocimiento de voz.

Por todas estas características técnicas, la RA puede proporcionar una interfaz que ofrece múltiples beneficios en los que se apoyan las relaciones y transformaciones cognitivas visuoespaciales. Por ejemplo, el docente puede superponer contenido digital sobre el libro de texto que los estudiantes podrán visualizar a través de sus dispositivos móviles y, así, ayudarles a observar con un

alto nivel de detalle recursos virtuales que, por lo general, no se disponen de manera real en el aula, como puede ser un turbogenerador en una clase sobre máquinas térmicas (Morales y del Cerro, 2020). Igualmente, la RA puede incluir datos de localización, comentarios de audio, contextos históricos y otras formas de contenido que hacen que la experiencia de un usuario al utilizar la RA sea más significativa e inmersiva en entornos de aprendizaje (Dunleavy et al., 2009; Fombona et al., 2012; Martínez-Graña et al., 2014).

RA como recurso metodológico en los procesos de enseñanza-aprendizaje

Desde su inicio se ha considerado el potencial de la RA en la educación, en este sentido, el hecho de disponer en las aulas de un sistema que permita al usuario manipular objetos 3D y recibir información a partir de un entorno real muestra claramente su relevancia en el mundo educativo (Azuma, 1997; del Cerro y Morales; 2017).

Esta tecnología, además de permitir cuestiones como las ya expuestas anteriormente, ha hecho posible que, tanto profesores como estudiantes, puedan ver información en un entorno real que de otra manera sería imposible mostrar, lo que permite llevar a la práctica muchos conceptos científicos hasta ahora imposibles de ilustrar.

Los métodos empleados para utilizar la tecnología de RA en educación suelen vincularse a libros de texto y material generado por el docente, a través de herramientas como ordenadores y/o dispositivos móviles (del Cerro y Morales, 2017).

De la misma forma, el uso de la RA puede ayudar a los estudiantes a establecer más fácilmente conexiones de información entre lo virtual y lo real, haciendo que el aprendizaje de contenidos abstractos bidimensionales o tridimensionales sea más interactivo (Behzadan y Kamat, 2013). El alumnado puede inspeccionar de forma proactiva los materiales aumentados desde cualquier perspectiva, haciendo así que el aprendizaje sea tangible y sensorial de forma digital, mejorando los procesos cognitivos de comprensión (Chen et al., 2011). Un ejemplo, es el estudio realizado por Morales y del Cerro (2020), donde ilustran el procedimiento de diseño y elaboración de recursos didácticos en RA para el aprendizaje de las máquinas térmicas (Apéndice B), dado que, como maquinaria pesada que son los motores térmicos, en la gran mayoría de aulas de enseñanza

no se dispone de maquetas o modelos en los que apoyar o complementar los fundamentos teóricos para su estudio y aprendizaje.

La RA es capaz de proveer al alumno de experiencias contextuales de aprendizaje dándole la posibilidad de explorar y descubrir el mundo real aumentado con una información añadida antes inaccesible (Jonhson et. al, 2010). Esto ha hecho posible aplicar esta tecnología al ámbito educativo de una forma eminentemente práctica.

Los informes de The New Media Consortium (García et al., 2010; Johnson et al., 2012; Johnson et al., 2013; Freeman et al., 2017) que identificaron y describieron las tendencias, desafíos y avances tecnológicos en educación, estimaron que la tecnología de RA se asentará en las aulas de educación secundaria y superior a corto plazo como una herramienta de acceso a la información que genera nuevos usos de la tecnología en los procesos de aprendizaje.

Este indicador, junto a la omnipresencia de los dispositivos móviles, se han convertido en la principal herramienta de acceso a la información en distintos formatos y de forma inmediata, pudiéndose utilizar como portales de acceso a Recursos Educativos Abiertos (REA). Estos REA adaptan el ritmo de aprendizaje a las necesidades de cada usuario; conjugan un binomio RA-dispositivos móviles que equipará el acceso a las oportunidades de aprendizaje y facilitan una prestación de servicios de aprendizaje móvil, interactivo, individualizado y adaptado (del Cerro y Morales, 2018).

La integración de la tecnología de RA en el campo de la educación ha permitido una evolución del modelo educativo. En un inicio, esta tecnología se utilizaba únicamente como una herramienta de acceso inmediato a la información digital, haciendo que los estudiantes formaran parte de las teorías del conductismo y objetivismo. Recientemente las aplicaciones de esta tecnología están experimentando algunos cambios, pasando los estudiantes de ser receptores a proveedores de conocimientos y tomando el docente el papel de guía-tutor con el objetivo que los estudiantes generen conocimientos utilizando esta tecnología de forma interactiva, siendo las teorías que protagonizan este nuevo modelo: el cognitivismo, el constructivismo y el construccionismo (Hoic-Bozic et al., 2008).

Debemos tener presente que nos encontramos ante un panorama educativo en el que cobra especial relevancia la adquisición de competencias digitales (Garzón

et al., 2020), pero la gran mayoría de herramientas y recursos tecnológicos no promueven las mismas oportunidades de aprendizaje para todos. El Objetivo de Desarrollo Sostenible ODS 4 tiene como propósito garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad, y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos. Los dispositivos móviles, están impulsando una revolución en la formación, permitiendo a los estudiantes acceder a los recursos de aprendizaje en cualquier lugar y momento. Por ello, es relevante el papel del aprendizaje móvil, que tiene la capacidad de ayudar a romper barreras económicas, diferencias entre zonas rurales y urbanas, así como de limitaciones funcionales. La omnipresencia de los dispositivos móviles está cambiando la forma en que las personas interactúan con la información y con su entorno. Además, la continua mejora del hardware de estos dispositivos y su reducción de coste, lo posiciona como la primera herramienta de acceso a la información más extendida a nivel mundial (del Cerro y Morales, 2018). En consecuencia, para la realización de este estudio se optó por elegir como plataforma de aprendizaje los dispositivos móviles, ya que todos los estudiantes poseían uno o tenían acceso a ellos, garantizando de esta forma, el acceso a la formación de todos los estudiantes.

Como señaló Vigotsky en 1987, con las nuevas tecnologías nos adentramos por primera vez un lugar en el que se interactúa con objetos reales y a la vez con virtuales, que permiten recordar aprendizajes anteriores, reestructurando el pensamiento y dando así sentido a aquello que se percibe del mundo exterior. Tal y como afirma este autor, personas desarrollan formas de interpretar y estrategias para relacionarse con el espacio físico y digital, de tal forma que este tipo de interacciones puedan establecerse con herramientas y sistemas que proporcionen varios tipos de estimulaciones, por tanto, es seguro que el uso de la RA provocará cambios sustanciales en la forma de acceder al conocimiento, interpretarlo y comunicarlo, que deberán ser considerados desde el campo de la educación (Estebanell, 2002).

La RA como tecnología integrada en la enseñanza adquiere una dimensión que destaca en la transformación sensorial, por lo que si se integra en los procesos de enseñanza-aprendizaje puede favorecer al aprendizaje significativo y contextualizado, adquirido a través de múltiples experiencias sensoriales (Vian, 2009).

Esta tecnología, se puede utilizar en la enseñanza para representar modelos en 3D de objetos que, por tamaño, coste, peligrosidad, distancia, tangibilidad... no estén al alcance real del alumnado. Además, trabajando en contextos con RA existe una interacción directa con el entorno o el objeto de estudio, haciendo de esta forma que el aprendizaje sea más significativo.

Con la representación de objetos en 3D a través de tecnología de RA disponemos de libertad de exploración espacial, de esta forma los estudiantes pueden percibir y entender realmente el espacio tal y como es. Además de la percepción espacial, los estudiantes pueden ver modelos en el espacio y modificar parámetros que alteren su geometría. En este sentido, se ejercita la visualización espacial, ya que también pueden girar o rotar estas representaciones para visualizar cada una de sus perspectivas o vistas, ayudando así a potenciar la rotación espacial. Al mismo tiempo, y mientras el usuario observa los parámetros que correlacionan varios objetos recreados en el espacio y ubica los diseños en el plano, también desarrolla las habilidades de relación y orientación espacial. Con todo ello, estimulamos, trabajamos y potenciamos a través de una herramienta multi-sensorial, como es la RA y los dispositivos móviles, todos los campos fundamentales de habilidades espaciales establecidos por Maier en 1994.

1.3 Inteligencia Espacial

Los estudios sobre habilidades espaciales comenzaron en el siglo XIX para comprender las diferencias de disposición mental de las personas. Galton (1883) definió a las imágenes mentales como los diferentes grados de viveza con los que las personas pueden recordar escenas familiares bajo la forma de imágenes mentales. Por otro lado, fueron varios los investigadores en Gran Bretaña y Estados Unidos los que llevaron a cabo experimentos para identificar factores espaciales (MacFarLane, 1925; Spearman, 1927; El-Koussy, 1935; Thurstone, 1938). En este sentido, en 1947, se identificaron dos factores principales a considerar, la visualización espacial y la orientación espacial (Guilford y Lacey, 1947). La visualización espacial se asoció con la rotación de los objetos, lo que Thurstone (1938) describió como la capacidad de definir un objeto desde diferentes perspectivas. Más tarde, en la década de los 60, la investigación sobre habilidades espaciales comenzó a centrarse en tres áreas diferentes. Estas áreas se basaban en el desarrollo de habilidades espaciales, identificación de fuentes de variación y reanálisis de datos utilizando marcos metodológicos comunes (Harle

y Towns, 2011). Por ejemplo, algunos investigadores se centraron en el desarrollo de la cognición espacial (Lohman y Kyllonen, 1983) y otros se centraron en las diferencias de género (Bryden, 1979). La revisión y análisis de trabajos anteriores realizado por Lohman (1979) y Carroll (1993) demostró que las habilidades que componían la inteligencia espacial no estaban del todo definidos, pero eran tres las habilidades principales: relación espacial, orientación espacial y visualización. Lohman (1979) definió la inteligencia espacial como la capacidad de generar, retener y manipular imágenes visuales abstractas. En el nivel más básico, el pensamiento espacial requiere la capacidad de codificar, recordar, transformar y asociar estímulos espaciales.

De acuerdo con la teoría piagetiana, un individuo adquiere la capacidad de visualización espacial a través de tres etapas distintas de desarrollo (Bishop, 1978). En la primera etapa, los niños aprenden la visualización espacial topológica, donde pueden entender la relación entre distintos objetos en el espacio, es decir, la ubicación de un objeto dentro de un grupo de objetos, el aislamiento del objeto, etc. En la segunda etapa de desarrollo, se adquiere la representación proyectiva, pudiendo concebir cómo se verá un objeto desde diferentes perspectivas. Por último, la etapa final del desarrollo de la visualización espacial, se fundamenta en combinar habilidades de proyección espacial con la medición de distancias.

Por otro lado, la inteligencia espacial corresponde a una de las ocho inteligencias del modelo propuesto por Gardner (1983) en la teoría de las Inteligencias Múltiples IM.

La inteligencia espacial se puede definir como la capacidad de percibir, generar, retener, recuperar y transformar figuras, imágenes u objetos de forma estructurada, incluso en ausencia de estímulos físicos. El término de inteligencia espacial abarca cinco campos fundamentales de habilidades que enfatizan diferentes aspectos del proceso cognitivo encargado de generar, almacenar, recuperar y transformar diferentes tipos de representaciones: la visualización espacial, la rotación mental, la percepción espacial, la relación espacial y la orientación espacial (Maier, 1994).

La visualización espacial (Linn y Petersen, 1985) denota la capacidad de percibir y recrear mentalmente objetos o modelos bidimensionales y tridimensionales. Distintos autores (Gutiérrez, 1996; Carajaville et al., 2006) emplearon el término

visualización espacial para indicar los procesos y habilidades de los individuos para realizar tareas que requieren ver o imaginar mentalmente los objetos geométricos espaciales, así como relacionar estos objetos y realizar operaciones o transformaciones geométricas con los mismos.

Shepard y Metzler (1971) definieron la habilidad de rotación mental, como la capacidad cognitiva de rotar representaciones ideales de objetos o modelos bidimensionales y/o tridimensionales, pudiendo describirse como el movimiento de las representaciones por el cerebro para ayudar a concebir cada una de sus vistas o perspectivas con respecto a un giro.

De acuerdo con Gibson (1950), la percepción espacial se define como la capacidad de percibir y comprender visualmente la información espacial externa, como son las características, propiedades, medidas, formas, posición y movimiento de un objeto en relación con un individuo.

Por otro lado, la relación espacial determina cómo se ubica un objeto en el espacio en relación a otro objeto de referencia, esta habilidad es la base del desarrollo cognitivo para caminar y atrapar objetos en el espacio (Freeman, 1975).

Por último, podemos hacer referencia a la orientación espacial como una la habilidad fundamental para moverse y situarse en el espacio (Oitzl y de Kloet, 1992; Park et al., 2008), siendo necesaria para actividades tan comunes como escribir recto, leer, diferenciar entre derecha e izquierda y, en general, situar objetos y orientarlos en el espacio.

Estas cinco habilidades son maleables y, por tanto, se pueden potenciar a través del uso de herramientas o aplicaciones multisensoriales que estimulen y mejoren las capacidades citadas (Samsudi et al., 2011). Sin embargo, el método tradicional para la enseñanza de las habilidades visuales y espaciales a los estudiantes se fundamenta en analizar e interpretar imágenes bidimensionales, vistas ortogonales y gráficas en una pizarra o tomando como soporte el papel. Este método tiene unas limitaciones evidentes, ya que dificulta la conceptualización y asimilación de los contenidos, debido a la falta de interacción entre los estudiantes y las representaciones (Chen et al., 2011).

El conocimiento adquirido a través de las habilidades espaciales se categoriza en tres áreas de información espacial: háptica, pictórica y transperceptiva (Mark,

1993). La información háptica se define por la entrada sensorial táctil y cinestésica, la pictórica se recibe a través de la percepción espacial, y la transperceptiva llega por medio de la búsqueda de posibles soluciones o alternativas. De estas tres áreas, la percepción háptica y pictórica son las formas más tempranas en las que la información llega a la mente. La RA utiliza estas tres fuentes de información espacial a diferencia de la mayoría de las otras tecnologías, que operan predominantemente en fuentes pictóricas. Shelton y Hedley (2004) observaron que esta combinación del conocimiento espacial pictórico y háptico adquirido a partir de la interacción y manipulación ofrecidas por RA puede resultar en una percepción más rápida y precisa.

Existen estudios (Kaufman y Schmalstieg, 2002; del Cerro y Morales, 2018) que señalaron que las capacidades visuales y espaciales pueden ser mejoradas por tecnologías emergentes como la RA. La integración de esta tecnología en el aula favorece a un enfoque constructivista del aprendizaje al permitir que los docentes lleven al aula experiencias tangibles y proactivas donde los estudiantes interaccionan y manipulan con el objeto de aprendizaje. Como educadores, debemos mostrar una actitud positiva hacia la integración de las TIC en la educación, ya que cambian eficazmente la forma en que los estudiantes aprenden (Hinojo et al., 2002); sin embargo, todavía queda mucho trabajo por hacer para conseguir un desarrollo sistemático de la RA con fines educativos.

Inteligencia espacial y aprendizaje en áreas de conocimiento STEM

La importancia de las habilidades espaciales para el éxito en áreas de conocimiento STEM ha sido reconocida por muchos investigadores (Wai et al., 2009; Mohler, 2006). Wai et al. (2009) indicaron que la capacidad espacial juega un papel importante en el aprendizaje de esta rama de conocimiento y que también ayuda, de alguna forma, a identificar a los estudiantes con un alto potencial para la realización de estudios superiores en estas áreas. Además, señalaron que hay muchas carreras universitarias para las que la visualización espacial y la rotación mental son fundamentales.

Norman (1994) descubrió que cuando se usa software de diseño asistido por ordenador, el factor cognitivo clave que causa diferencias en el desarrollo y los resultados es la visualización espacial. Otros investigadores también señalaron que la capacidad de visualizar modelos mentalmente es esencial no solo para los artistas, sino también para los científicos y técnicos (Barke, 1993; Gilbert, 2004).

En el estudio de las denominadas áreas de conocimiento STEM, este tipo de inteligencia es fundamental para que los estudiantes desarrollen la capacidad de transferir datos numéricos y proyecciones bidimensionales a objetos tridimensionales con facilidad (del Cerro y Morales, 2017; del Cerro y Lozano, 2019). Dentro de los contenidos de las asignaturas de Educación Secundaria, por ejemplo: tecnología, dibujo técnico, matemáticas, etc., estas habilidades tienen multitud de aplicaciones, como pueden ser la concepción y construcción de modelos espaciales, el análisis de objetos geométricos, la interpretación de diagramas y la identificación de funciones entre otros.

A pesar de la importancia del factor inteligencia espacial en áreas de conocimiento STEM, es difícil encontrar la implementación de actividades, recursos o metodologías que potencien el desarrollo de las habilidades espaciales en entornos educativos (Wai et al., 2009). Snow (1999) mostró su preocupación por descuidar la inteligencia espacial en entornos educativos y afirma que existen evidencias de que la inteligencia espacial se relaciona con los contenidos específicos en campos como la arquitectura, la odontología, la ingeniería y la medicina, y resalta que es increíble que haya tan poca investigación en este campo.

Wu y Shah (2004) enfatizaron sobre la importancia de ver animaciones dinámicas y 3D como una posible forma de mejorar las representaciones mentales insuficientes de los alumnos. No obstante, algunas investigaciones indicaron que ver materiales de aprendizaje en 3D puede causar un problema de sobrecarga cognitiva (Gerjets y Scheiter, 2003; Paas et al., 2003).

Aunque la inteligencia espacial se evalúa para identificar la aptitud de un individuo en la visualización mental, esta evaluación también puede ayudar a los estudiantes con menos habilidad visuoespacial a ser conscientes de su nivel para participar en programas de capacitación que pueden ayudarlos a potenciar estas habilidades. Un nivel bajo de inteligencia espacial, puede tener efectos negativos en la autoeficacia de los estudiantes para aprender en disciplinas que dependen de las habilidades espaciales (Towle, et al., 2005).

1.4 Teorías Cognitivas

Antes de comenzar con el desarrollo de la investigación, se realiza una brevemente introducción sobre los fundamentos de las teorías cognitivas intrínsecas al trabajo, para así, preparar al lector sobre algunos de los conceptos que se discutirán en los siguientes capítulos de la tesis doctoral.

1.4.1. Teoría de la Carga Cognitiva

De acuerdo con Paas, Renkl y Sweller (2003), Paas, Tuovinen, Tabbers y Van Gerven (2003) y Van Merriënboer y Sweller (2005), la infraestructura cognitiva humana, en particular la Memoria de Trabajo (MT), es limitada. La MT es un tipo de memoria a corto plazo, y se define como el conjunto de procesos que nos permiten el almacenamiento y manipulación de la información para la realización de tareas cognitivas complejas como la comprensión del lenguaje, la lectura, las habilidades matemáticas, el aprendizaje o el razonamiento (Baddeley, 1986). Esta limitación puede representar una barrera para un aprendizaje más efectivo. Una forma de sortear esta barrera es estudiar el funcionamiento interno de la MT y diseñar contenido instructivo a su alrededor. Una teoría que considera las limitaciones de la memoria de trabajo, con respecto a la cantidad de información que puede contener y la cantidad de operaciones que puede realizar, es la Teoría de la Carga Cognitiva (TCC) (Sweller, 1994; Gerven et al., 2003).

La TCC reconoce tres tipos de carga cognitiva: extrínseca, intrínseca y relacionada (Sweller et al., 1998). La carga cognitiva extrínseca se genera por el diseño inadecuado de los materiales didácticos que saturan la MT; la carga intrínseca se genera por la dificultad comprensión de los materiales de aprendizaje; y la carga relacionada es generada por la cantidad de esfuerzo mental invertido (Plass et al., 2010).

Por ello, es fundamental el diseño de materiales que permitan comprender bien los contenidos con herramientas como la RA, que tiene el potencial de hacer más interactivos y tangibles los materiales de aprendizaje, reducir la carga cognitiva extrínseca, intrínseca y relacionada. Además, esta tecnología nos brinda una excelente descripción y conceptualización de la información espacial.

1.4.2. Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia

Las TIC emergentes, tan reclamadas recientemente por el sector educativo, se están volviendo progresivamente más accesibles y económicas; por lo que la situación actual es, sin ninguna duda, un escenario muy interesante para el desarrollo de aplicaciones educativas, que difícilmente sería factible realizar hace unos años (Fiolhais y Trinidad, 2003; Cardoso, 2010). Por otro lado, su combinación con las herramientas tecnológicas actuales, como los dispositivos móviles, presentan un alto potencial para descubrir y proporcionar nueva información en cualquier ámbito (Carmigniani et al, 2010). En este sentido, combinando TIC y dispositivos móviles se puede dar respuesta a una sociedad que demanda una educación diversa, con soluciones de calidad y en igualdad de oportunidades (del Cerro y Morales, 2017).

Por tanto, la implementación de nuevos medios tecnológicos en educación puede apoyar áreas cuyos contenidos se desarrollan en marcos espaciales como las asignaturas STEM, donde la carga cognitiva tiene espacial protagonismo (Wai et al., 2009; Mohler, 2006). Como parte del aprendizaje, cada alumno debe transformar la información externa de múltiples representaciones en un modelo mental interno.

Un concepto que describe esta transferencia de la representación externa a la interna es la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia TCAM de Mayer (2002). Esta teoría consta de tres principios para diseñar el aprendizaje multimedia. Primero, la TCAM asume que las representaciones visuales, verbales y textuales son percibidas y procesadas por diferentes canales cognitivos. El segundo supuesto establece que la capacidad de la memoria de trabajo es limitada, lo que está en consonancia con la TCC de Sweller et al. (1994). Esto significa que cada uno de los canales cognitivos solo puede procesar una cantidad limitada de información simultáneamente. El tercer supuesto de la teoría pone en primer plano una comprensión constructivista del aprendizaje en el sentido de que el alumno debe procesar activamente la información relevante para que se produzca un aprendizaje significativo. Por lo tanto, debe seleccionar la información trascendental, organizarla en un modelo mental coherente e integrarla dentro de los conocimientos previos ya existentes. Después de explicar estos tres supuestos principales de la TCAM, a continuación, se describen brevemente tres principios seleccionados para diseñar materiales multimedia que sean efectivos para el aprendizaje.

El principio de la TCAM establece que la presentación de dos tipos de representación, como textos e imágenes combinados, ha demostrado ser eficaz para el aprendizaje. Los estudiantes pueden construir mejores conexiones mentales entre estos dos tipos diferentes de representación (Altmeyer et al., 2020). Este principio es una consecuencia del supuesto de que diferentes tipos de representaciones se procesan en diferentes canales cognitivos y la capacidad de cada canal es limitada. Son otros dos principios los que explican cómo se debe realizar la combinación de los diferentes tipos de medios: los principios de contigüidad espacial y temporal.

El principio de contigüidad espacial establece que el texto debe presentarse cerca de la imagen o animación correspondiente que describe. Si se hace así, los alumnos no tienen que invertir gran parte de su capacidad cognitiva para buscar información en otro lugar y compararla (Altmeyer et al., 2020). El principio de contigüidad temporal afirma que las explicaciones y animaciones correspondientes deben presentarse al mismo tiempo por la misma razón, por lo que los alumnos estarán en mejores condiciones de establecer conexiones mentales entre palabras e imágenes simultáneamente.

Además, el modo de presentar los contenidos afecta a los resultados del aprendizaje, teniendo esto un mayor efecto en alumnos con dificultades. Davies (2002) señaló que presentar contenidos de aprendizaje complejos a través de materiales y medios multimedia podría ayudar significativamente a su asimilación. Wu y Shah (2004) también enfatizaron en el uso de las TIC para mejorar las dificultades en las representaciones espaciales de los alumnos. Sin embargo, otros investigadores señalan la sobrecarga cognitiva que puede ocurrir durante la presentación de contenidos a través de TIC (Gerjets y Scheiter, 2003; Paas et al., 2003).

En retrospectiva, estos tres principios se pueden cumplir con una herramienta de RA. Agregar información digital al mundo real en sí mismo proporciona un segundo tipo de representación en el entorno de aprendizaje, tal como indica la TCAM. Si la RA se diseña en base a marcadores, la contigüidad espacial, así como el principio de contigüidad temporal, también se ajusta a su definición. El enfoque basado en marcadores especifica que un objeto virtual tridimensional o una animación se muestra en la pantalla de un dispositivo móvil, por ejemplo, encima de una imagen impresa bidimensional, que sirve como marcador. De esta

manera, al usuario se le presentan ambos tipos de representación espacialmente cerca uno del otro y al mismo tiempo.

1.4.3. Aprendizaje a través de Múltiples Representaciones Externas

El uso de múltiples representaciones externas ha demostrado ser beneficioso para los logros del aprendizaje, ya que los diferentes tipos de representaciones se procesan por separado en la memoria de trabajo. No obstante, la integración de un nuevo medio como la RA, implica el riesgo de dificultar el aprendizaje, en caso de no estar adecuadamente contextualizado con los contenidos.

Nielsen et al. (2016), señalaron que la combinación de múltiples representaciones a través de la RA, es decir, los objetos virtuales con los marcadores, puede facilitar la capacidad de los estudiantes para experimentar fenómenos que de otro modo serían imposibles o inviables.

En las áreas de conocimiento STEM, tanto los docentes como los investigadores y los estudiantes tratan de forma constante con el aprendizaje a través múltiples representaciones externas, en su mayoría texto e imágenes, que suelen estar integradas en materiales didácticos o artículos científicos. La combinación de representaciones pictóricas y verbales ha demostrado ser eficaz para sistemas complejos de causa y efecto, que a menudo ocurren en las ciencias (Castro-Alonso, et al., 2019).

La adquisición de conocimiento a través de múltiples representaciones externas tiene la intención de minimizar la carga cognitiva innecesaria en el aprendizaje, si a esto le añadimos un uso apropiado y contextualizado de la RA como soporte multimedia, esto se puede fomentar aún más. Harle y Towns (2011) indicaron la importancia de entrenar la transformación de imágenes bidimensionales hacia modelos tridimensionales, esto se relaciona con la percepción espacial y con el procesamiento cognitivo de múltiples representaciones externas.

CAPÍTULO
2
OBJETIVOS Y ENFOQUE
METODOLÓGICO

En este capítulo se establecen los objetivos y la metodología de investigación para configurar la unidad científica de las publicaciones que conforman la tesis por compendio.

2.1. Objetivos de la Tesis Doctoral

Este trabajo se centra en la investigación del impacto de la RA en la inteligencia espacial de los estudiantes en el aprendizaje de contenidos con alta carga visual en áreas de conocimiento STEM, como son las asignaturas de tecnología, dibujo técnico y matemáticas. Para comprobar esto empíricamente, se diseñan diferentes materiales aumentados en forma de REA activables a través de dispositivos móviles. En este sentido, se integra la RA de forma contextualizada en contenidos específicos de estas asignaturas para averiguar el impacto en sus habilidades espaciales.

Este trabajo es de especial interés para los docentes cuyas disciplinas requieren la comprensión espacial de los estudiantes, para abordar contenidos relacionados con gráficos, diseños o modelos conceptuales. La RA ha desarrollado recientemente una interfaz móvil que permite a los usuarios ver el mundo real con objetos virtuales superpuestos (Azuma, 1997). Este entorno inmersivo

aumenta el sentido de percepción y la interactividad, además la RA es una herramienta única para el aprendizaje de asignaturas STEM, en las que es difícil de comprender a partir de presentaciones basadas en texto o imágenes.

El resultado de esta investigación puede ayudar a los educadores a adoptar y adaptar la RA como una herramienta integrada de forma contextualizada en entornos de aprendizaje con un marco espacial en áreas de conocimiento STEM.

Con la idea de integrar metodologías basadas en tecnología de RA para potenciar la inteligencia espacial y mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes para el estudio de contenidos de las áreas de conocimiento STEM, es importante tener en cuenta que, la investigación de las aplicaciones educativas de la RA se puede dividir en tres áreas principales:

- a. Impacto de la RA sobre las habilidades espaciales de los estudiantes.
- b. Implicaciones de la información visuoespacial en el proceso de aprendizaje.
- c. Efectos de la RA en la memoria de trabajo y, en consecuencia, en los logros de aprendizaje.

Cada área es un componente crucial de la investigación sobre la efectividad de la RA como herramienta educativa para la mejora de la inteligencia espacial y el aprendizaje de contenidos STEM. Debido a la dificultad de medir los efectos que tiene la entrada sensorial en la memoria de trabajo, este estudio se centra en medir los efectos de la RA en las habilidades espaciales y los logros de aprendizaje. En consecuencia, los objetivos de este estudio son:

1. Comparar la RA como herramienta de aprendizaje frente a otros materiales considerados como tradicionales, como las fichas de texto impresas con imágenes.
2. Determinar si la RA puede disminuir la carga cognitiva de los estudiantes en áreas de conocimiento STEM.
3. Valorar si la RA puede mejorar las habilidades de visualización espacial de los estudiantes durante el aprendizaje de contenidos STEM.

2.2. **Objetivos Específicos**

Tomando como referencia los objetivos indicados anteriormente, se formulan y definen los siguientes objetivos específicos de la investigación a los que se responderá, a su vez, con los objetivos específicos propios de cada una de las contribuciones del compendio:

1. Describir, conocer y explorar la relación entre los métodos y herramientas de RA para la mejora de la inteligencia espacial.
2. Diseñar materiales aumentados y actividades que estén relacionadas con los contenidos específicos de las áreas de conocimiento STEM.
3. Observar el ambiente y el clima en el aula al utilizar materiales aumentados que faciliten el proceso de enseñanza-aprendizaje de contenidos con alta carga visual.
4. Analizar la capacidad de indagación y autoaprendizaje del alumnado.
5. Verificar las habilidades espaciales y el conocimiento adquirido por los estudiantes tras utilizar tecnología de RA.
6. Hallar las posibles limitaciones de la RA en la mejora de la inteligencia espacial.

2.3. **Metodología y Estructura de la Tesis Doctoral**

Para realizar este trabajo se siguió la metodología de investigación de diseño educativo EDR. La metodología EDR se estructura de una forma sistemática en el diseño, desarrollo y evaluación de procesos de una intervención educativa (Plomp, 2013). Este método es un tipo de diseño de investigación especialmente adecuado para el diseño de entornos de aprendizaje en los que se integra tecnologías no asentadas (Wang y Hannafin, 2005; Richey y Klein, 2014). Generalmente, se compone de tres fases de investigación que son: la investigación preliminar, la creación de materiales y el desarrollo, y la evaluación (Nieveen y Folmer, 2013).

Con la presente memoria se responde a los tres objetivos que proporcionan la unidad científica de la tesis por compendio de publicaciones, mediante dos fases: a través resultados recopilados de una revisión sistemática del estado actual del arte, siendo esta una de las contribuciones del compendio y con una subsección

de dos estudios previos, correspondientes a las otras dos contribuciones del compendio, basados en un diseño cuasi-experimental de tipo transversal y correlacional, en el que se emplearon pruebas escritas y cuestionarios como instrumento de recogida de datos y se toma como referencia un grupo de control y un grupo experimental.

En las experiencias realizadas, se utilizaron dos metodologías diferenciadas para cada uno de los dos grupos: una experimental en la que los estudiantes recibieron materiales de tipo REA en RA como herramientas de apoyo al aprendizaje de contenidos STEM; y una de control en la que los participantes recibieron la misma lección, pero en lugar de utilizar materiales aumentados, los estudiantes emplearon para su aprendizaje recursos didácticos en forma de texto e imágenes 2D.

Además, en cada una de las experiencias llevadas a cabo para este estudio, se utilizó un diseño pretest-postest de grupos aleatorizados, este tipo de diseño permite utilizar variables independientes, incluidas las habilidades espaciales de los participantes y sus conocimientos académicos previos. Se emplearon pruebas deductivas t-test entre las medias de los grupos y, a continuación, se realizó una estadística inferencial utilizando análisis de la varianza (ANOVA).

El análisis de la información obtenida se realizó mediante el siguiente procedimiento: en primer lugar, se codificaron los ítems y se tabularon mediante la creación de un archivo donde se recogió toda la información que obtenida en los distintos cuestionarios validados. Para la tabulación de datos, se utilizó software basado en hojas de cálculo, en nuestro caso Microsoft Excel. En tanto que, en segundo lugar, para el análisis estadístico se empleó el programa Statistical Package for Social Sciences SPSS para realizar las correspondientes pruebas de fiabilidad y para el análisis factorial exploratorio. De esta forma se analizó la validez intrínseca de las escalas, estableciendo si las mismas median lo que se pretendía medir de una forma consistente.

El análisis factorial exploratorio se empleó con dos propósitos:

1. Simplificar un conjunto de datos para lo cual se reduce el número de variables sin una gran pérdida de información del conjunto original.
2. Identificar la estructura o dimensionalidad subyacente de los datos.

La metodología empleada para el contraste empírico de las hipótesis fundamentales fue el análisis diferencial y el análisis causal, tanto en el modelo de medida como en el modelo de estructura de covarianza para determinar los factores asociados al uso a través de la metodología que integran los materiales aumentados.

En el siguiente capítulo, se detallan, para cada una de las experiencias realizadas, aspectos específicos como la población, muestra, contenidos, instrumentos de recogida de datos, estadística descriptiva, etc.

Para el área de conocimiento STEM, elegimos diferentes contenidos de las asignaturas de Tecnología y Matemáticas. Estos son la expresión gráfica, la energía y su transformación, y las funciones matemáticas. Se han seleccionado estos temas atendiendo a los objetivos de la investigación, ya que para su correcto aprendizaje se requiere un buen nivel de habilidades visuoespaciales.

En los dos estudios, así como en otros previos comentados en los antecedentes de esta memoria, se utilizaron métodos de análisis de datos cuantitativos para aceptar o rechazar las hipótesis de investigación. Los datos cuantitativos consistieron en las puntuaciones de las pruebas pretest y posttest de los test de inteligencia espacial MRT y PSVT: R, y las calificaciones de los conocimientos específicos de los tres contenidos de aprendizaje STEM seleccionados. Posteriormente, se calcularon la estadística descriptiva y la intercorrelación de las medidas de los resultados de cada uno de los estudios, que se utilizaron para realizar pruebas t-test para comprobar las hipótesis establecidas.

2.4. Justificación de la unidad científica

Valorar cómo la RA afecta a la carga cognitiva está en línea con la investigación realizada por Tang et al. (2003), quienes compararon la efectividad de la RA como herramienta de aprendizaje con otros tres métodos de instrucción (medios impresos, software CAD y RA mediante HMD) desde la perspectiva de la carga cognitiva. No obstante, los materiales educativos REA mal diseñados pueden aumentar la carga cognitiva y disminuir el aprendizaje (Chandler y Sweller, 1991; Van Merriënboer et al., 2002; Tabbers et al., 2004). Las primeras investigaciones sobre la RA indicaron que cuando se usa en determinadas condiciones, puede

reducir potencialmente la carga cognitiva, pero esta investigación debe ampliarse para incluir nuevas áreas e interacciones (Shelton, 2003), como el papel de la inteligencia espacial en áreas de conocimiento STEM. Además, debe examinarse la integración de la RA en el aula o en los entornos educativos, ya sea desde un aspecto pedagógico o tecnológico (Chen et al., 2009).

Por otro lado, investigar cómo la RA puede potenciar y complementar las habilidades de visualización espacial durante el aprendizaje de contenidos del área de conocimiento STEM está en línea con la investigación realizada por Shelton (2003), quien examinó cómo los estudiantes cambian la forma en que llegan a comprender temas que involucran relaciones espaciales dinámicas mientras interactúan con objetos virtuales en RA. Esta es un área especialmente fértil para la investigación, ya que existen pocos estudios que examinen directamente el impacto de la RA en la inteligencia espacial del alumnado. Dado que las habilidades espaciales varían entre los estudiantes, sería de gran interés determinar si la RA puede ayudar a las personas con habilidades espaciales bajas con el aprendizaje de contenido STEM con una alta carga visual.

Con el fin de determinar si la integración de metodologías en RA puede mejorar la inteligencia espacial y el aprendizaje de contenidos STEM, a lo largo de la investigación, tanto con las contribuciones que configuran el compendio de la tesis como por otras contribuciones de la investigación, la presente tesis doctoral constituye una única unidad científica por las siguientes razones:

1. Recopila y revisa de forma sistemática trabajos científicos publicados en los que se emplea la tecnología de RA para la mejora de la inteligencia espacial en áreas de conocimiento STEM (del Cerro y Morales, 2021b).
2. Identifica las variables moderadoras que influyen en el impacto de la RA sobre la mejora de las habilidades espaciales de los estudiantes y su relación en el aprendizaje de contenidos STEM (del Cerro y Morales, 2021b).
3. Diseña materiales educativos en RA para un aprendizaje efectivo de contenidos STEM con alta carga visual (del Cerro y Morales, 2017, 2018, 2021a).
4. Integra y desarrolla estrategias de enseñanza-aprendizaje en contenidos STEM vinculados a la inteligencia espacial (del Cerro y Morales, 2017, 2018, 2021a).
5. Contrasta los hallazgos en las experiencias realizadas con los obtenidos

por otros investigadores en entornos similares a través de un análisis comparativo de los resultados (del Cerro y Morales, 2018, 2021a, 2021b).

6. Determina los beneficios y las limitaciones de la integración de metodologías basadas en RA para la mejora de la inteligencia espacial y el aprendizaje de contenidos en áreas de conocimiento STEM (del Cerro y Morales, 2018, 2021a, 2021b).

2.5. Validez interna y externa del estudio

Una condición potencial para la validez interna de este estudio es el sesgo del muestreo y las características de los participantes. No es factible disponer de una muestra aleatoria de toda la población estudiantil relacionada con el área de conocimiento STEM, por lo tanto, una muestra seleccionada de la población podría no ser una representación precisa. Esto también puede causar un sesgo sistemático en el que la diferencia entre las poblaciones muestreadas difiera de los resultados teóricos de toda la población, es por ello que los resultados de las tres experiencias realizadas para esta tesis, se compararon con los obtenidos en la revisión sistemática de la literatura por otros autores con otra muestra poblacional. Esta estrategia de triangulación utiliza múltiples investigaciones y diferentes fuentes de datos, donde se emplean múltiples formas de investigar y se combinan para obtener una conclusión sobre los hallazgos (Silverman, 2002; Fraenkel y Wallen, 2006).

Por otro lado, cada uno de los artículos publicados en revistas científicas se ha sometido a un procedimiento de revisión por pares. En este sentido, se evaluó la calidad de cada una de las investigaciones con el objetivo de garantizar que cada uno de los artículos fuese riguroso, coherente y que aportara una contribución científica reseñable.

Además, la instrumentación empleada no es un problema para la validez interna, ya que los instrumentos que se utilizan están psicométricamente validados para medir las habilidades espaciales y los logros de aprendizaje alcanzados. No se hayan amenazas a la validez externa en el diseño de esta investigación, por lo tanto, aquellos que quisieran diseñar, desarrollar o implementar una herramienta o materiales en RA para mejorar la inteligencia espacial pueden derivar con cautela los resultados de este estudio adaptado a sus circunstancias.

2.6. Limitaciones del trabajo

En la realización de esta tesis, se hicieron algunas suposiciones como que, aunque la RA era una tecnología nueva para los estudiantes, estos podían utilizar la interfaz de RA sin ningún problema de uso técnico. Además, la inclusión de materiales aumentados como herramienta de aprendizaje no pudo tener continuidad después de que los participantes se acostumbraran a ellos, como afirman Dunleavy et al. (2009).

Debido a que la tecnología de RA es relativamente nueva y los dispositivos como las gafas inteligentes son muy costosos y están poco extendidos en la sociedad, las experiencias llevadas a cabo para esta tesis se limitan a la inclusión de la RA como tecnología educativa a través de los dispositivos móviles.

Los estudios presentados en la tesis doctoral, se desarrollaron en torno a las asignaturas de Tecnología de 3^{er} curso de ESO y Matemáticas Académicas de 4^o curso de ESO para investigar el efecto de integrar materiales aumentados en la enseñanza-aprendizaje de contenidos con alta carga visual. Dado que el alcance y el potencial de los modelos aprendidos en un entorno interconectado y ubicuo aún no asentado, las conclusiones extraídas de las investigaciones realizadas deben tomarse con cautela (Zapata, 2015). Es por ello, que la generalización de los resultados de las tres experiencias realizadas a otros contenidos y niveles de enseñanza debe hacerse con precaución.

En este capítulo se responde a los objetivos de investigación haciendo referencia a los artículos del compendio. Para ello, se expone el estado del arte, las experiencias realizadas en el aula, los problemas y las soluciones adoptadas. Por último, se indican las conclusiones específicas obtenidas en cada una de las investigaciones dando respuesta a las hipótesis de las mismas.

3.1. Revisión del Estado del Arte

Para cada una de las contribuciones se realizó una búsqueda de las principales referencias bibliográficas, así como una descripción detallada de las mismas sobre la base de los objetivos descritos en el capítulo anterior y a las áreas de interés del trabajo. La revisión de la literatura constituyó un marco de referencia para esta tesis y reveló los principios necesarios para el diseño de experiencias aumentadas en áreas de conocimiento STEM.

Una revisión literaria sistemática reciente de Ahmad y Junaini (2020) determinó que el uso de la RA en la enseñanza de las matemáticas debe ser dirigido a mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje a través del desarrollo de la visualización espacial y las habilidades de resolución de problemas (Herrera et al., 2019). Sus resultados muestran que existe una ausencia en los programas de formación docente y materiales aumentados, lo que requiere más investigación en este campo. El trabajo revisó 19 artículos científicos, no obstante, sin centrarse

en una descripción detallada del impacto de la RA en las habilidades espaciales del alumnado.

Si bien una gran cantidad de revisiones previas de aplicaciones de RA se han centrado en el campo de la educación (Akçayır y Akçayır, 2017), existe una ausencia de revisión bibliográfica sistemática sobre el uso de RA en el entrenamiento de habilidades espaciales. Según Gün y Atasoy (2017), se ha realizado muy poco trabajo de investigación acción o sistemática para estudiar los efectos de los sistemas RA en el entrenamiento de habilidades espaciales, además el software para el desarrollo de aplicaciones de RA o materiales aumentados es escaso y limitado. Por lo tanto, una revisión de los estudios de investigación en el desarrollo de habilidades espaciales utilizando tecnología RA puede esclarecer el estado actual y orientar investigaciones futuras en la educación.

En los últimos años, la RA ha adquirido un mayor protagonismo, debido a su desarrollo tecnológico. Existe una gran cantidad de trabajo científico que revela las ventajas, las limitaciones y los próximos desafíos de la RA en el aprendizaje, y específicamente en la educación STEM (Billinghurst, M. y Duenser, 2012; Bacca et al., 2014; Radu, 2014; Diegmann et al., 2015; Saidin et al., 2015; Cabero y Barroso, 2016; Hwang et al., 2016; Saltan y Arslan, 2016; Carbonell y Bermejo, 2017; Chen et al., 2017; Dey et al., 2018; López et al., 2019).

Entre los hallazgos hay una fuerte convergencia, donde los autores destacan con frecuencia que la RA facilita el aprendizaje, aumenta el interés de los estudiantes, mejora el autoaprendizaje y es fácil de usar. Sin embargo, también señalan la dependencia tecnológica y las posibles distracciones que puede ocasionar en los estudiantes.

3.1.1. Revisión Sistemática de la Literatura

Si bien muchas investigaciones se han centrado en la incorporación de la tecnología de RA en entornos educativos, pocos estudios se han centrado en el impacto potencial de la RA en la inteligencia espacial de los estudiantes (Shelton y Hedley, 2004; Dünser et al., 2006; Thornton et al., 2012; Jeřábek et al., 2014; Quintero et al., 2015; Del Cerro y Morales, 2017; Gómez et al., 2018; González, 2018; Del Cerro y Morales, 2021a).

Teniendo en cuenta estos antecedentes, para la revisión del estado del arte se realizó una Revisión Sistemática (RS) de la literatura con los siguientes objetivos:

1. Acopiar, sintetizar e integrar la literatura existente que mide el impacto de la RA en la inteligencia espacial de los estudiantes.
2. Identificar cómo algunas de las variables moderadoras influyen en el impacto de la RA sobre la posible mejora de las habilidades espaciales de los estudiantes.

Todo ello con la intención de identificar como los sistemas en RA influyen en la inteligencia espacial de los estudiantes para orientar el desarrollo de futuras investigaciones, metodologías o aplicaciones en la enseñanza del área de conocimiento STEM.

3.1.2. Metodología de la RS

La RS de la literatura, siguió un riguroso proceso de investigación con el fin de recopilar, evaluar y resumir la evidencia empírica relacionada con la RA y su impacto en la inteligencia espacial del alumnado. Se seleccionaron para el análisis diecisiete estudios cuantitativos de las principales bases de datos que midieron el impacto de la RA en la inteligencia espacial de los estudiantes.

El trabajo se realizó de acuerdo con las directrices propuestas por Kitchenham et al. (2009) para la RS literarias y adecuándolas a nuestro marco de investigación. Este modelo se empleó inicialmente para la revisión en los campos de la medicina y la informática. En este caso, la revisión se centró en el análisis de artículos científicos y, siguiendo los pasos de la RS de la literatura, se articularon tres fases fundamentales: planificación, desarrollo y resultados de la revisión (Figura 3.1).



Figura 3.1. Diagrama de fases de la RS

En la primera fase de la planificación, se desarrolló un procedimiento de revisión que sirvió como guía para la revisión y especifica los objetivos, métodos y resultados de interés principales de la RS. En esta fase se definieron los términos de búsqueda, los criterios de inclusión-exclusión y los datos a analizar.

En la fase de desarrollo, se relacionaron los hallazgos encontrados en los estudios con las preguntas de investigación y su relevancia. Asimismo, se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión establecidos para acotar los resultados, para ello, se emplearon formularios de extracción de datos diseñados para recopilar toda la información necesaria, sintetizar datos y resumir los resultados de cada uno de los estudios.

En la última fase, se analizaron y discutieron los resultados documentados de forma estructurada, obteniendo así las conclusiones de la RS. Además, se indicaron las tendencias, las limitaciones del estudio y las recomendaciones para futuras investigaciones.

3.1.2.1 Preguntas de Investigación de la RS

Las preguntas de investigación debían responder al impacto de la tecnología de RA en el entrenamiento de habilidades espaciales en el aprendizaje de materias STEM. En este sentido, al existir un vacío en la literatura se pretendió resolver a través de la presente RS sobre las investigaciones que utilizaban la RA para

mejorar la inteligencia espacial del alumnado. Es por ello, que se plantearon las siguientes preguntas de investigación (PI) relativas a la RA, la inteligencia espacial y su aplicación en entornos educativos STEM (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. PI relacionadas con la aplicación de la RA en educación STEM y su impacto en la inteligencia espacial del alumnado

PI1	¿Qué impacto tiene la RA en el desarrollo de la inteligencia espacial?
PI2	¿Qué habilidades espaciales se han evaluado mediante el uso de RA?
PI3	¿Cuál fue el efecto de la RA en el aprendizaje de contenidos STEM?
PI4	¿Qué tipo de herramientas de aprendizaje y recursos en RA se han utilizado en el desarrollo de la inteligencia espacial?
PI5	¿Cuáles son las limitaciones de la RA en la mejora de la inteligencia espacial?

3.1.2.2 Proceso de Búsqueda

Para identificar los estudios primarios que responden a las preguntas de investigación, se realizó una búsqueda exhaustiva de artículos científicos en el tres principales bases de datos bibliométricas: Scopus, Web of Science y Google Académico. De acuerdo al número, cobertura y calidad de las citas de estas bases de datos, Scopus destaca por tener una amplia cobertura de revistas, en comparación con el alto número de citas a expensas de la calidad de Google Académico, y a la alta calidad en decremento del número de citas de Web of Science (Bar-Ilan, 2010; Burnham, 2016).

La búsqueda inicial de los estudios se hizo principalmente en función de su título, su resumen y sus palabras clave. Se buscaron las siguientes palabras clave en inglés: "Augmented Reality" y "Augmenting Reality" en combinación con "Spatial Intelligence", "Spatial Ability", "Spatial Abilities" y "Visuospatial Ability" unidas a Education, Learning, Teaching, Instruction y Training. La búsqueda se realizó el 4 de abril de 2021 y nos permitió encontrar 242 estudios. No se incluyeron estudios no publicados porque la evaluación de su calidad no se puede garantizar en ausencia de un proceso de revisión por pares.

3.1.2.3 Criterios de Inclusión y Exclusión

Ambos autores examinamos los estudios resultantes de la búsqueda inicial para identificar aquellos relevantes para el trabajo. Esto permitió excluir investigaciones que no abordaran el propósito del estudio o los requisitos previamente planteados. Para ello, se realizó una criba, seleccionando los estudios que cumplieran con las siguientes condiciones:

- a) Estudios empíricos que midieron el impacto de la RA en la inteligencia espacial de los estudiantes como una variable de resultado.
- b) Estudios que proporcionaron suficiente información estadística descriptiva suficiente.
- c) Estudios que incluyeron un modelo pretest-postest en grupos de control y experimental.

3.1.2.4 Recopilación de Datos

Para la recopilación de datos se diseñó un documento de extracción de los mismos con el objetivo de recopilar la información que permitiera abordar las preguntas de investigación. Cada artículo fue leído por los dos investigadores, quienes utilizaron la técnica de análisis de contenidos recomendada por Hsu et al. (2013) para extraer los datos. El formulario de datos permitió recoger la siguiente información de cada uno de los estudios primarios: referencia bibliográfica, nivel educativo, contenidos, habilidades espaciales evaluadas, pruebas de inteligencia espacial empleadas, hardware, software y recursos educativos utilizados, beneficios de la RA en la inteligencia espacial, utilidad de la RA en el aprendizaje STEM y limitaciones de la RA.

3.1.2.5 Análisis de Datos

Con el objeto de abordar las preguntas de investigación, se vincularon a cada una de ellas los criterios de evaluación utilizados en los formularios de extracción de datos para cada estudio seleccionado. La realización de esta tabulación, permitió estructurar los estudios según sus características compartidas (Bacca et al., 2014). La lista de criterios de evaluación para la tabulación de datos clasificados por las preguntas de investigación se recoge en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Criterios de evaluación relacionados con las preguntas de investigación

Pregunta de Investigación	Criterio de Evaluación
PI1	Beneficios de la RA en la inteligencia espacial
PI2	Habilidades espaciales evaluadas Pruebas de inteligencia espacial empleadas
PI3	Nivel educativo Contenidos Utilidad de la RA en el aprendizaje STEM
PI4	Hardware Software Recursos Educativos
PI5	Limitaciones de la RA

3.1.3. Resultado de la RS

Como ya se indicó en el apartado de metodología, los artículos seleccionados para esta RS se rescataron de las bases de datos de Scopus, Web of Science y Google Académico. Estas bases de datos se seleccionaron porque cumplían con los requisitos del protocolo y con las opciones de filtrado donde se mecanizaron los parámetros específicos establecidos. Tal y como muestra la Figura 3.2, las búsquedas devolvieron como resultado 242 artículos de las bases de datos, de los cuales 45 eran duplicados, lo que redujo el número de artículos a 197. Tras revisar sus títulos, palabras clave y resúmenes, se excluyeron 103 artículos porque no cumplían con los criterios de inclusión en cuanto al enfoque del estudio. Quedando así, 94 artículos para evaluar su elegibilidad, los cuales se examinaron minuciosamente para determinar su relevancia en la RS. Debido a los criterios de exclusión se excluyeron 77 artículos debido a los criterios de exclusión. Finalmente se analizaron o incluyeron en la revisión un total de 17 artículos científicos.

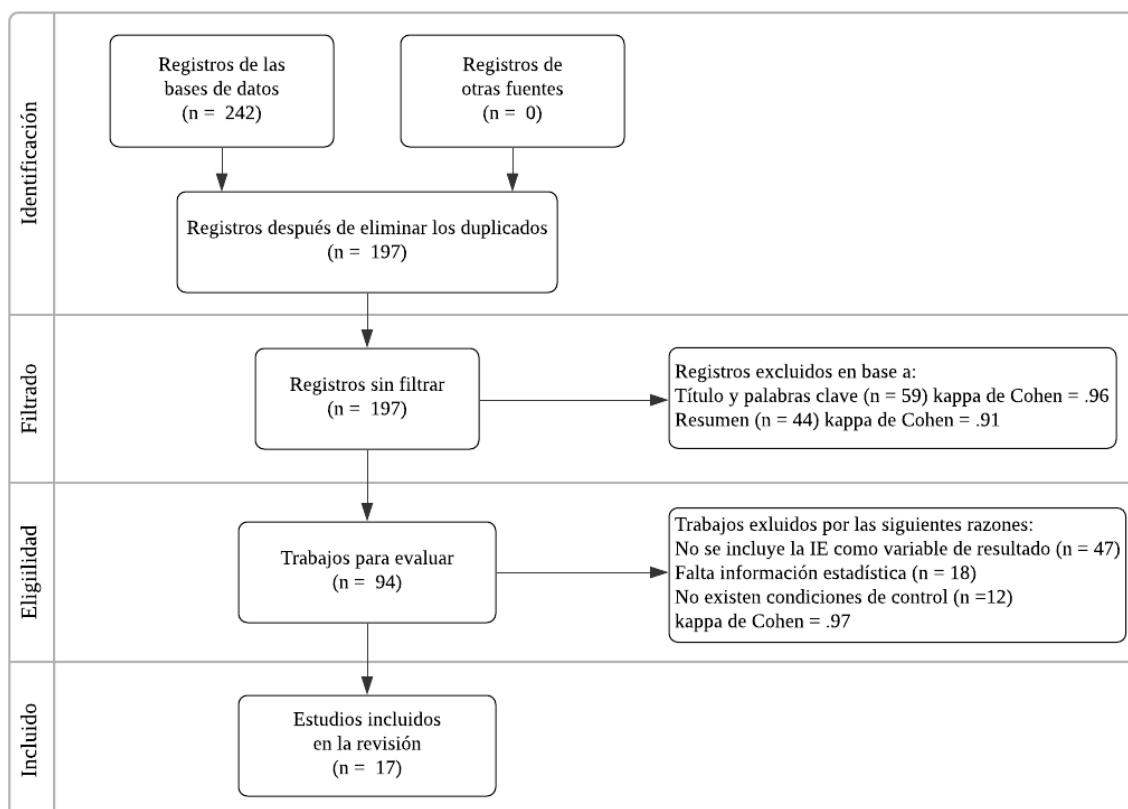


Figura 3.2. Diagrama de flujo del proceso de selección de estudios

Como es habitual en las RS de la literatura, se utilizó el coeficiente kappa de Cohen para verificar la robustez entre codificadores en cada nivel de exclusión (Cohen, 1968). Se encontraron valores superiores a 0,9 lo que corresponde a un acuerdo casi perfecto entre los autores en la filtración y selección de los estudios, los desacuerdos ocasionales se discutieron y resolvieron mediante consenso.

Los resultados obtenidos en un análisis preliminar mostraron el número de investigaciones seleccionadas para la RS, relacionadas con la RA y la inteligencia espacial en áreas de conocimiento STEM y, de acuerdo a su año de publicación (Tabla 3.3). Desde el año 2002 al 2013 se publican un número muy bajo e interrumpido de estudios. Se observa que, a partir del 2014, es cuando el tema de investigación recibió una mayor atención y de forma más permanente, aunque el número de trabajos sigue siendo muy limitado. Los resultados sugieren, en síntesis, que el interés sobre este tema de estudio ha aumentado desde 2014 hasta el 2021, y se piensa que esta tendencia continuará en los próximos años. Este hallazgo es significativo y servirá para orientar futuras investigaciones en áreas de conocimiento STEM.

Tabla 3.3. Número de artículos publicados por año

Year	Articles	Year	Articles
2002	1	2016	1
2006	1	2017	1
2010	1	2018	1
2011	1	2019	1
2012	1	2020	3
2014	1	2021	1
2015	3		

La Tabla 3.4 ilustra la distribución de los artículos seleccionados para la RS de acuerdo al país de las instituciones vinculadas al investigador principal. Cabe destacar, que los principales países que más han contribuido en esta materia son España (Martín-Gutiérrez et al., 2010; Contero et al., 2012; Gutiérrez et al., 2016; Carbonell y Bermejo, 2017; del Cerro y Morales, 2021a) y Taiwán (Chen et al., 2011; Liao et al., 2015; Lin et al., 2015). Del total de artículos, ocho investigaciones se llevaron a cabo gracias a la financiación de fondos por medio de instituciones u organismos, entre los que sobresalen el Ministerio de Ciencia e Innovación de España y el Fondo para la Ciencia austriaco.

Tabla 3.4. Número de artículos publicados por país

Country	Articles	Country	Articles
Spain	5	New Zealand	1
Taiwan	3	Indonesia	1
Austria	2	Peru	1
Germany	1	Malaysia	1
USA	1	Netherlands	1

El extracto que a continuación se ilustra en la Tabla 3.5, corresponde a los artículos analizados que utilizan la RA con el objeto de promover el desarrollo de habilidades espaciales en los estudiantes a través de distintas metodologías de aprendizaje en las distintas áreas de la educación y formación STEM. En esta tabla se muestran las evidencias experimentales más reseñables de cada uno de los artículos científicos seleccionados para la RS, de acuerdo a los criterios de evaluación establecidos.

Tabla 3.5. Resumen de los hallazgos clave de los estudios seleccionados

Referencia	Nivel Educativo Muestra	Habilidades Espaciales Evaluadas	Pruebas de Inteligencia Espacial	Hardware Software	Beneficios de la RA en la inteligencia espacial	Utilidad de la RA en el aprendizaje	Limitaciones de la RA
Bogomolova et al., 2020	Educación Superior. Medicina. Anatomía. N = 20	Visualización Espacial y Rotación Mental	Mental Rotation Test (MRT), Paper Folding Test (PFT), Mechanical Reasoning (MR)	HoloLens®, DynamicAnatomy	Los modelos anatómicos tridimensionales que se pueden ver estereoscópicamente en RA ayudan a optimizar la adquisición de aprendizajes anatómicos en estudiantes con habilidades espaciales visuales bajas.	Ayuda a disminuir la carga cognitiva externa y, facilita una mejor comprensión de la anatomía 3D en estudiantes con nivel visuoespacial bajo.	Tecnología no asentada. Para detectar la retención de conocimientos sería necesario realizar una prueba a largo plazo.
Camba et al., 2014	Educación Superior. Ingeniería de Diseño. Expresión Gráfica. N = 22	Visualización Espacial	Cuestionario validado psicómicamente	Dispositivos móviles. AR Engineering	Los materiales gráficos en RA tienen un impacto positivo en la visualización y las habilidades espaciales de los estudiantes.	La tecnología de RA es especialmente efectiva en el aprendizaje de áreas con alta demanda de habilidades espaciales, como la expresión gráfica.	La potencia de procesamiento gráfico suele ser inferior en los dispositivos móviles. Es necesario seguir mejorando la integración de modelos más realistas, animaciones y activación markerless.
Carbonell y Bermejo, 2017	Educación Superior. Ingeniería Civil. Cartografía. N = 63	Visualización espacial e Interpretación Espacial	Topographic Map Assessment (TMA)	Dispositivos móviles: tablets. AR-media™, ARrelief-Workshop	Los participantes mejoraron su habilidad de interpretación de relieve de forma estadísticamente significativa.	La RA es una herramienta potente para ver e interpretar el terreno en 3D, además si se implementa en una pantalla táctil permite interactuar de forma intuitiva al usuario.	Escasez de material cartográfico que incorpora marcadores de RA.
Chen et al., 2011	Educación Superior. Ingeniería de Diseño. N=35	Visualización Espacial y Rotación Mental	Cuestionario validado psicómicamente	Ordenador con webcam. ARToolKitPlus	Los materiales aumentados, ayudaron a los participantes con habilidades espaciales deficientes para aumentar su comprensión espacial.	Los estudiantes pueden observar las características de los modelos desde vistas arbitrarias para obtener mejorar su aprendizaje.	El efecto de utilizar la RA en estudiantes que poseen una elevada capacidad espacial es insignificante.
Contero et al., 2012	Educación Superior. Ingeniería de Diseño. Expresión Gráfica. N = 27	Visualización Espacial y Rotación Mental	Differential Aptitude Test: Space Relations (DAT: SR), Mental Rotation Test (MRT)	Ordenador con webcam. AR-Books	El grupo experimental muestra una mejora significativa de sus niveles de visualización espacial y rotación mental tras el uso de RA. La interactividad de las aplicaciones en RA contribuye a la comprensión del concepto espacio.	La interacción tangible con contenidos aumentados, es un valor añadido que se refleja en los resultados de aprendizaje.	Quizás surjan problemas cuando, los estudiantes soliciten más material en RA para apoyarse en cursos sucesivos. Se requieren de un gran esfuerzo para crear contenidos didácticos aumentados.

Tabla 3.5. Cont.

Referencia	Nivel Educativo Muestra	Habilidades Espaciales Evaluadas	Pruebas de Inteligencia Espacial	Hardware Software	Beneficios de la RA en la inteligencia espacial	Utilidad de la RA en el aprendizaje	Limitaciones de la RA
Del Cerro y Morales, 2021a	Educación Secundaria. Matemáticas. Cálculo. N = 23	Visualización Espacial y Rotación Mental	Purdue Spatial Visualization Test: Rotations (PSVT: R)	Dispositivos móviles. Geogebra AR	Mejora significativa en los niveles de logro académico e inteligencia espacial de los estudiantes expuestos a ella.	Potencia el aprendizaje proactivo y deslocalizado, verificando y evaluando con precisión los resultados de forma autónoma. Los factores de atención y motivación, repercuten positivamente en el aprendizaje.	Para detectar la retención de conocimientos sería necesario realizar una prueba a largo plazo. Es necesaria una mejor formación docente para diseñar material didáctico en RA.
Dünser et al., 2006	Educación Secundaria. Matemáticas. Geometría. N = 47	Visualización Espacial, Rotación Mental y Orientación Espacial	Differential Aptitude Test: Space Relations (DAT: SR), Mental Cutting Test (MCT), Mental Rotation Test (MRT), Objective Perspective Test (OPT)	Head Mounted Display (HMD), Ordenador. Construct3D, CAD3D	La RA es una herramienta muy útil para el entrenamiento de las habilidades espaciales. Se puede desarrollar aplicaciones que permitan examinar diferentes aspectos y comportamientos espaciales.	La interactividad de la RA ofrece un estímulo de aprendizaje que mejora la asimilación de contenidos en los estudiantes. Se reduce la carga cognitiva externa, los usuarios no tienen que interpretar o transformar mentalmente.	Las medidas de habilidad espacial tomadas no cubren todas las capacidades que se utilizan cuando se trabaja en un espacio tridimensional. Por lo tanto, serían deseables nuevas herramientas para medir la inteligencia espacial directamente en 3D.
Gómez-Tone et al., 2020	Educación Superior. Ingeniería de Diseño. Expresión Gráfica. N = 31	Visualización Espacial y Rotación Mental	Differential Aptitude Test: Space Relations (DAT:SR), Mental Rotation Test (MRT)	Ordenador con webcam. AR-Books	Los grupos experimentales lograron ganancias significativas en su habilidad espacial, a pesar de ser estudiantes de diferentes países cuyo nivel inicial era heterogéneo. No se detectaron diferencias en los grupos experimentales para la variable sexo	Las habilidades espaciales poco desarrolladas actúan como una barrera para los logros de aprendizaje en materias STEM. La RA tiene una relación directa entre el rendimiento académico, la motivación y el autoaprendizaje.	La experiencia se podría haber realizado a lo largo de varios semestres con el fin de analizar cómo podría afectar la retención de estudiantes durante la carrera. Falta de recursos disponibles y oportunidades de formación docente.
Gutiérrez et al., 2016	Educación Superior. Ingeniería Mecánica. Expresión Gráfica. N = 50	Visualización Espacial y Rotación Mental	Differential Aptitude Test: Space Relations (DAT:SR), Purdue Spatial Visualization Test: Rotations (PSVT: R)	Dispositivos móviles. DiedricAR	Se logra un impacto positivo en las habilidades espaciales de los estudiantes.	Se obtuvieron resultados relevantes en el aprendizaje de geometría descriptiva, además de la ubicuidad. Acceso flexible al aprendizaje fuera del aula.	Sería interesante incluir pruebas de autoevaluación en la app.

Tabla 3.5. Cont.

Referencia	Nivel Educativo Muestra	Habilidades Espaciales Evaluadas	Pruebas de Inteligencia Espacial	Hardware Software	Beneficios de la RA en la inteligencia espacial	Utilidad de la RA en el aprendizaje	Limitaciones de la RA
Habig, 2020	Educación Superior. Química. Química Orgánica. N = 31	Visualización Espacial y Rotación Mental	Purdue Spatial Visualization Test: Rotations (PSVT: R)	Dispositivos móviles. AR Chemistry (ARC)	La tecnología de RA es útil para mejorar los procesos de aprendizaje, reduciendo la carga cognitiva de los estudiantes con habilidades espaciales bajas. La RA proporciona un enfoque prometedor para la visualización y el aprendizaje de conceptos complejos.	Los estudiantes que utilizaron RA obtuvieron calificaciones más altas en los contenidos de estereoquímica, que los que aprendieron con libros de texto y apuntes.	Se deben implementar mejor las representaciones de RA en material instructivo, estableciendo principios de diseño e integración de actividades.
Kaufmann y Schmalstieg, 2002	Educación Secundaria. Matemáticas. Geometría. N = 14	Visualización Espacial, Rotación Mental y Orientación Espacial	Cuestionario validado psicométricamente	Head Mounted Display (HMD), Ordenador. Construct3D, CAD3D	Mejora las habilidades espaciales de los estudiantes. Las relaciones espaciales tridimensionales complejas son directamente visibles.	Mejora la comprensión de la geometría tridimensional. Fomenta la experimentación con construcciones geométricas. Aprender haciendo.	La creación de contenido educativo para un sistema interactivo es al menos tan difícil como la creación de libros de texto y requerirá una cantidad considerable de tiempo y trabajo.
Liao et al., 2015	Educación Secundaria. Matemáticas. Geometría	Visualización Espacial y Rotación Mental	Cuestionario validado psicométricamente	Ordenador con webcam. Unity3D, Vuforia AR	Los estudiantes del grupo experimental tienen mejores logros en habilidades espaciales que el grupo de control. La RA permite entender las relaciones espaciales, esto es imposible de implementar en los libros de texto tradicionales.	A través de la RA se obtienen mayores logros académicos en geometría y actitudes más positivas hacia el aprendizaje.	No se especifican.
Lin et al., 2015	Educación Secundaria. Matemáticas. Geometría. N = 42	Visualización Espacial y Rotación Mental	System Usability Scale (SUS), Task Load Index (NASA-TLX)	Ordenador con webcam. AR-assisted learning system	El rendimiento de los estudiantes con respecto a su inteligencia espacial tiene una alta correlación positiva. Los estudiantes que poseen logros académicos medios y bajos, se benefician más de la tecnología de RA, no solo en términos de inteligencia espacial, sino también en efectividad y motivación	Existe un impacto favorable de los resultados y eficacia del aprendizaje de contenidos geométricos. Mejora la motivación y el interés por el aprendizaje.	Los estudiantes con nivel visuoespacial alto, no muestran diferencias significativas en sus habilidades espaciales. Incorporar animaciones a los diseños.

Tabla 3.5. Cont.

Referencia	Nivel Educativo Muestra	Habilidades Espaciales Evaluadas	Pruebas de Inteligencia Espacial	Hardware Software	Beneficios de la RA en la inteligencia espacial	Utilidad de la RA en el aprendizaje	Limitaciones de la RA
Martín-Gutiérrez et al., 2010	Educación Superior. Ingeniería Mecánica. Expresión Gráfica. N = 24	Visualización Espacial y Rotación Mental	Differential Aptitude Test: Space Relations (DAT:SR), Mental Rotation Test (MRT)	Ordenador con webcam. AR-Dehaes	La RA es una herramienta eficaz para promover el desarrollo de habilidades espaciales. La experiencia realizada ha tenido un impacto positivo en la capacidad espacial de los estudiantes.	Los estudiantes alcanzan un buen nivel en el desarrollo e interpretación de vistas. Actitud muy positiva hacia el aprendizaje.	No se especifican.
Omar et al., 2019	Educación Superior. Ingeniería de Diseño. Expresión Gráfica. N = 30	Visualización Espacial y Rotación Mental	Purdue Spatial Visualization Test: Rotations (PSVT: R)	Dispositivos móviles. AREDAApps.	La RA a través de dispositivos móviles (MAR), es una herramienta adecuada para la mejora de las habilidades de visualización y rotación espacial. Sobre todo, en alumnado que partían con un nivel visuoespacial bajo.	Especialmente efectiva en estudiantes que tenían dificultades para comprender las proyecciones ortográficas. Es eficaz para mejorar la calidad del proceso de e-a y ayuda a maximizar la experiencia de aprendizaje de los estudiantes, gracias a su interactividad.	Los efectos de la RA son menores en los estudiantes con un nivel alto de habilidades espaciales.
Quintero et al., 2015	Educación Superior. Matemáticas. Cálculo	Visualización Espacial	No se especifican	Dispositivos móviles. Visual and Tangible MATH	El material producido aumentado producido, fomenta el desarrollo de la habilidad de visualización espacial.	La RA es una tecnología multisensorial que, acompañada de una metodología adecuada, genera percepciones cognitivas que permite profundizar en el aprendizaje.	No se especifican.
Rohendi et al., 2018	Educación Secundaria. Matemáticas. Geometría	Visualización Espacial	Cuestionario no validado psicométricamente	Dispositivos móviles. Vuforia	Las mejoras en la inteligencia espacial se acentúan en estudiantes con habilidades espaciales medias-bajas.	La RA facilita a los estudiantes la comprensión de objetos geométricos tridimensionales, pudiendo rotar los objetos tridimensionales libremente, haciéndolos más fáciles de ver desde varias perspectivas.	Hasta la fecha, el uso del aprendizaje a través de la tecnología de RA todavía es muy limitado.

3.1.4. Análisis y discusión del estado del arte

De acuerdo con el proceso de selección descrito y a los criterios de evaluación establecidos para la realización de la RS, se recogen y discuten los datos extraídos de forma descriptiva en diferentes tablas con respecto a las preguntas de investigación enumeradas en la Tabla 3.2.

3.1.4.1. Impacto de la RA en el desarrollo de la inteligencia espacial (PI1)

Los primeros criterios de evaluación analizados en la RS de la literatura, están relacionados con las ventajas que aporta la tecnología de RA en la mejora de las habilidades espaciales de los estudiantes que utilizan esta herramienta. Tras extraer los datos, en la Tabla 3.6, se observan las frecuencias absolutas de los beneficios clave que proporciona la RA en los estudiantes.

Tabla 3.6. Beneficios de la RA en el desarrollo de la inteligencia espacial

Beneficios clave	n _i	Investigación de muestra
Mejora la inteligencia espacial	17	Camba et al., 2014
Permite observar modelos desde diferentes perspectivas	10	Martín-Gutiérrez et al., 2010
Ayuda a visualizar conceptos abstractos	7	Bogomolova et al., 2020
Mayor beneficio en usuarios con habilidades visuoespaciales bajas	7	Rohendi et al., 2018
Contribuye a la comprensión del concepto del espacio	3	Contero et al., 2012
Reduce la carga cognitiva	3	Habig, 2020

Los resultados de la revisión indican por unanimidad de los investigadores (17 de 17) que el uso de las herramientas de RA en el aula se correlacionó con una mejora de la inteligencia espacial del alumnado. Este hallazgo se apoya en los resultados cuantitativos de los artículos revisados, donde los grupos experimentales lograron ganancias significativas en sus habilidades espaciales. Por lo tanto, de acuerdo a estos resultados, podemos afirmar que la tecnología de RA es una herramienta que, utilizada con una metodología apropiada y en un contexto adecuado, tiene un impacto positivo en la inteligencia espacial de los estudiantes de materias STEM.

Igualmente, los efectos potenciales de la RA como herramienta para visualizar conceptos abstractos a los que aluden diferentes artículos (7 de 17), tiene relación con el concepto de tangibilidad, puesto que, generalmente la RA permite la interacción con los objetos. Los procesos de enseñanza-aprendizaje se pueden explicar más fácilmente cuando utilizamos objetos físicos, esto se debe a que estos objetos no sólo son una representación para los estudiantes, sino que además

incitan al aprendizaje proactivo a través de su tangibilidad. Tanto el uso de objetos físicos, como sus representaciones semánticas, así como su disposición espacial, ayudan al alumnado a través de la manipulación a la comprensión y al aprendizaje de contenidos abstractos con alta carga visual. Además, la RA proporciona la capacidad de ayudar a los estudiantes a desarrollar una comprensión del concepto del espacio de una forma más profunda (Contero et al., 2012), permitiendo al usuario mediante un aprendizaje inmersivo que interactúe con él.

Del mismo modo, algunos investigadores informaron que los resultados de aprendizaje específicos estaban relacionados con la reducción del peso cognitivo de contenidos con una alta carga visual (3 de 17). Por ejemplo, Habig (2020) comparó las puntuaciones de esfuerzo y carga mental a través de análisis de modelo ANOVA, lo que resultó en una diferencia significativa en términos de esfuerzo y carga mental entre el grupo experimental y el de control. Creemos firmemente que este hallazgo está relacionado con la tangibilidad que aporta la RA al permitir que los estudiantes puedan interactuar con los diferentes materiales, pudiéndolos observar desde diferentes ángulos tal y como indican la gran mayoría de artículos revisados (10 de 17). Esta funcionalidad de la RA como herramienta de apoyo a la visualización espacial, podría estar asociada con los trabajos que revelan que el impacto, es especialmente significativo en los estudiantes que partían con un nivel de habilidades visuoespaciales bajo (7 de 17) cuando se integra esta tecnología.

3.1.4.2. Habilidades espaciales evaluadas mediante el uso de la RA (PI2)

Hasta el momento, no existe ninguna prueba normalizada para medir la inteligencia espacial de forma unitaria, por lo que la evaluación de la inteligencia espacial se realiza a partir de las diferentes habilidades que la integran. Es por ello, que se utilizan diferentes pruebas estandarizadas específicas que ofrecen información relevante sobre los distintos subcomponentes de la inteligencia espacial. Es importante que los investigadores sepan qué aspecto quieren evaluar, de modo que seleccionen las pruebas pertinentes con evidencias sólidas de confiabilidad y validez acordes a los objetivos de sus trabajos.

Después de extraer los datos de los estudios correspondientes a las evaluaciones realizadas por los investigadores, se organizaron en dos categorías,

distinguiendo entre las habilidades espaciales evaluadas y las pruebas de evaluación validadas empleadas. Los resultados se presentan de manera descriptiva en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Evaluación de las habilidades espaciales

Categoría	Sub-Categoría	n_i	Investigación de muestra
Habilidades espaciales	Visualización espacial	17	Gutiérrez et al., 2016
	Rotación Mental	13	Gómez-Tone et al., 2020
	Orientación Espacial	2	Dünser et al., 2006
	Interpretación Espacial	1	Carbonell y Bermejo, 2017
Pruebas	Mental Rotation Test (MRT)	5	Martín-Gutiérrez et al., 2010
	Differential Aptitude Test: Space Relations (DAT: SR)	5	Contero et al., 2012
	Cuestionario validado psicométricamente	5	Chen et al., 2011
	Purdue Spatial Visualization Test: Rotations (PSVT: R)	4	Del Cerro y Morales, 2021a
	Mental Cutting Test (MCT)	1	Dünser et al., 2006
	Objective Perspective Test (OPT)	1	Dünser et al., 2006
	System Usability Scale (SUS)	1	Lin et al., 2015
	Task Load Index (NASA-TLX)	1	Lin et al., 2015
	Topographic Map Assessment (TMA)	1	Carbonell y Bermejo, 2017
	Paper Folding Test (PFT)	1	Bogomolova et al., 2020
	Mechanical Reasoning (MR)	1	Bogomolova et al., 2020

Generalmente, los estudios sobre inteligencia espacial suelen seguir dos líneas de investigación con respecto a la definición de habilidades espaciales. La primera compuesta por tres habilidades: percepción espacial, orientación espacial o rotación mental y visualización espacial. La segunda está integrada por dos habilidades: visualización espacial y rotación mental o relación espacial (Roca-González et al., 2017).

En relación a lo expuesto, tras emplear propuestas metodológicas integrando tecnología de RA en el aula o fuera de esta, los autores miden el nivel de logro en diferentes habilidades espaciales, predominando en los estudios seleccionados para la RS la evaluación de las habilidades de visualización espacial (17 de 17) y rotación mental (12 de 17). Únicamente dos investigaciones (Dünser et al., 2006; Carbonell y Bermejo 2017) evalúan la habilidad de orientación espacial, por tanto, la mayoría de los autores aplican la línea de investigación que se centra en

analizar las habilidades de visualización espacial y rotación mental para el estudio de la inteligencia espacial.

Existen varias pruebas estandarizadas para medir la habilidad de una persona en las dos primeras etapas de desarrollo espacial. En primer lugar, las comúnmente más empleadas en los artículos seleccionados, son la prueba de rotación mental Mental Rotation Test (MRT) y la prueba de aptitud diferencial para las relaciones espaciales Differential Aptitude Test: Space Relations (DAT: SR). Ambas herramientas de evaluación miden la capacidad cognitiva del alumnado para realizar distintos procesos de conversión de información bidimensional a tridimensional en ausencia de estímulos.

En concreto, la prueba MRT, que fue desarrollada por Vandenberg y Kuse (1978) es una de las pruebas con mayor nivel de aceptación y aplicabilidad a nivel mundial (Navarro et al., 2006). La prueba MRT está diseñada para medir la habilidad de rotación mental, a través de un test que consta de 20 elementos, y en cada uno de ellos, el usuario debe elegir la figura correcta que represente la rotación de la figura objetivo (Figura 3.3).

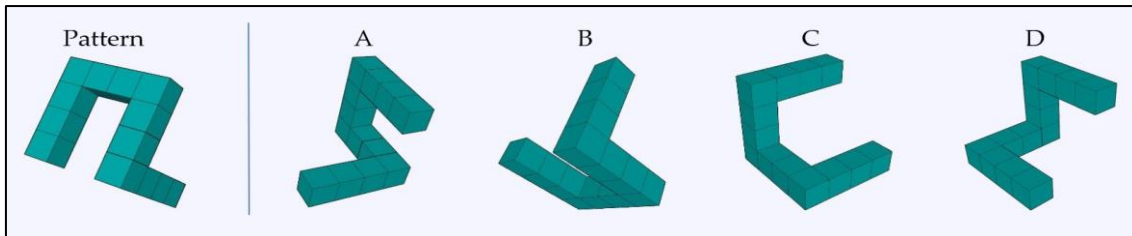


Figura 3.3. MRT pregunta de ejemplo

De una forma similar, el cuestionario DAT: SR de Bennet et al. (1973), mide específicamente la capacidad del estudiante para pasar del ámbito 2D al 3D (, 2009). Consta de 50 elementos que requieren que el alumno pliegue mentalmente el patrón 2D y elija el objeto 3D correcto, que resultaría dado el patrón 2D original, entre cuatro alternativas (Figura 3.4).

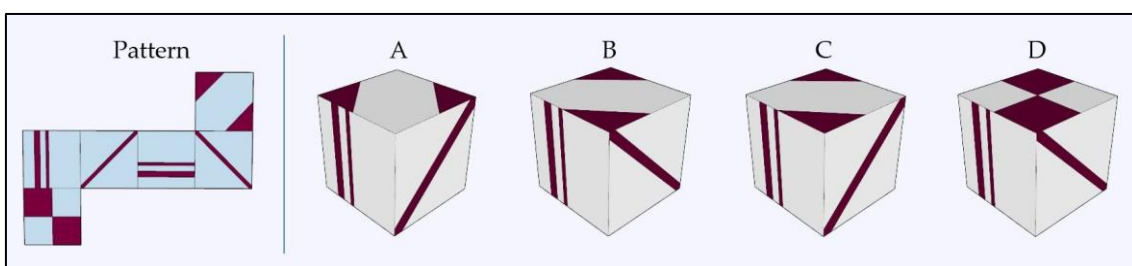


Figura 3.4. DAT: SR pregunta de ejemplo

En segundo lugar, en cuanto a las herramientas de evaluación espacial más utilizadas, se encuentra la prueba PSVT: R para dimensionar el nivel de las habilidades de visualización y rotación espacial (Guay, 1977). Este test consta de 12 ítems, en cada uno de ellos se le pide al alumno que indique cuál de las opciones es la vista correcta que representa la siguiente rotación en el patrón (Figura 3.5). En la mayoría de los artículos se utilizó como instrumento de evaluación al inicio y al finalizar la experiencia en los grupos experimentales y de control, un diseño pretest-postest, y así se evaluó el impacto en la inteligencia espacial del alumnado a través de la experiencia en el aula empleando RA en materias STEM. En un estudio realizado por Sorby (2007), se demostró que el PSVT: R es una herramienta que ayuda a medir de forma significativa las habilidades espaciales de los estudiantes que estudian ingeniería.

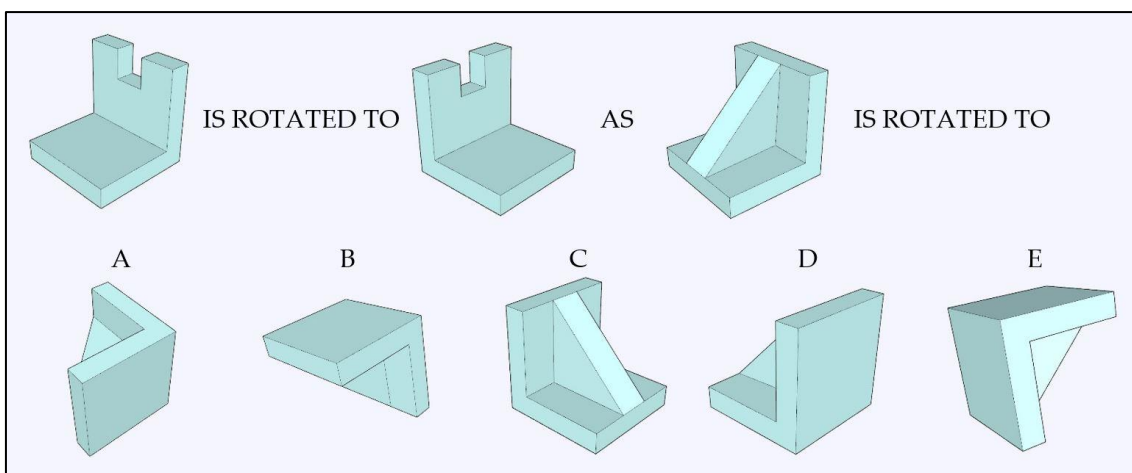


Figura 3.5. PSVT: R pregunta de ejemplo

Por último, se utilizan otros test específicos con una frecuencia mínima en el área de conocimiento STEM relacionados con contenidos, disciplinas y metodologías muy concretas. En la investigación centrada en el estudio de la geometría desarrollada por Dünser et al. (2006), se emplean como herramientas de evaluación las pruebas Mental Cutting Test (MCT) y Objective Perspective Test (OPT). En otro trabajo del mismo campo, Lin et al. (2015) utilizan las herramientas de evaluación System Usability Scale (SUS) y NASA Task Load Index (NASA-TLX) para validar sus cuestionarios. Para evaluar la eficacia en los estudiantes de Ingeniería Civil en el estudio de la cartografía, Carbonell y Bermejo (2017) emplean el cuestionario específico Topographic Map Assessment (TMA) para la interpretación espacial de relieves topográficos. Por otro lado, los investigadores Bogomolova et al. (2020) aplican las pruebas Paper Folding Test (PFT) y Mechanical Reasoning (MR) para valorar las habilidades de visión

estereoscópica de los estudiantes de medicina en la adquisición de aprendizajes anatómicos.

3.1.4.3. Contribuciones de la RA en el aprendizaje de contenidos en áreas de conocimiento STEM (PI3)

Desde un punto de vista pedagógico, la RA en materias STEM ofrece como contribuciones más destacadas: su aporte para comprender contenidos con alta carga visual, la mejora en los resultados de aprendizaje, promueve el aprendizaje proactivo, obtienen mayor efectividad los estudiantes con un nivel visuoespacial bajo y potencia la motivación y el interés por el aprendizaje (Tabla 3.8).

Tabla 3.8. Beneficios pedagógicos la RA en el aprendizaje de contenidos STEM

Contribuciones clave	ni	Investigación de muestra
Ayuda a comprender contenidos con alta carga visual	11	Camba et al., 2014
Mejora los resultados de aprendizaje	8	Habig, 2020
Fomenta el aprendizaje proactivo	8	Gómez-Tone et al., 2020
Más efectiva en estudiantes con nivel visuoespacial bajo	7	Omar et al., 2019
Potencia la motivación y el interés por el aprendizaje	6	Liao et al., 2015

La mayoría de los estudios (11 de 17) coincidieron en que la tecnología de RA ayuda a comprender contenidos con una carga visual alta en materias STEM. Un ejemplo es la investigación realizada en el área de expresión gráfica por Martín-Gutiérrez et al. (2010), quienes presentaron un sistema de entrenamiento a través de un libro aumentado llamado AR-Dehaes, diseñado para proporcionar modelos virtuales que puedan ayudar a los estudiantes de ingeniería a realizar tareas de visualización y rotación espacial con el objeto de promover el desarrollo de su inteligencia espacial. Los autores concluyen que el estudio validado tuvo un impacto positivo en el aprendizaje con respecto a la metodología que hace uso de los libros de texto tradicionales. Investigaciones similares de Dünser et al. (2006) y Bogomolova et al. (2020), señalaron que la RA ofrece estímulos de aprendizaje que mejoran la asimilación de contenidos en los estudiantes. Esto implica una reducción de la carga cognitiva externa, y aumenta la capacidad de los estudiantes de focalizar su atención en la información más relevante, utilizándose como una herramienta de apoyo para realizar transformaciones e interpretaciones cognitivas. También añadieron que la tecnología de RA es

especialmente efectiva en el aprendizaje de contenidos con alta demanda de habilidades espaciales, como es la expresión gráfica (Camba et al., 2014).

Además, son numerosos los artículos (8 de 17) que destacan la mejora del rendimiento académico y los resultados de aprendizaje de los estudiantes tras integrar materiales aumentados en entornos educativos STEM. De acuerdo con los trabajos en las áreas de geometría descriptiva (Liao et al., 2015; Lin et al., 2015; Gutiérrez, 2016) y estereoquímica (Habig, 2020), los estudiantes que utilizaron tecnología de RA obtuvieron calificaciones más altas, que los que emplearon una metodología de aprendizaje con libros de texto y apuntes. Esto se debe a que la RA permite a los estudiantes visualizar conceptos abstractos de forma virtual, que no se puede ver fácilmente en un entorno real.

Otro de los beneficios pedagógicos de la RA, es la posibilidad que brinda a los usuarios con un nivel de habilidades visuoespaciales bajo (7 de 17). A través de ella, pueden interactuar y visualizar los modelos desde diferentes perspectivas, este hecho está estrechamente relacionado con una mejora de la satisfacción hacia el aprendizaje del alumnado, ayudando a los estudiantes con dificultades a resolver problemas específicos y memorizar mejor los materiales de aprendizaje. Un ejemplo, es el trabajo realizado por Omar et al. (2019), donde demuestra que la RA es especialmente efectiva en estudiantes que partían con unas habilidades espaciales bajas y que tenían dificultades para comprender las proyecciones ortográficas. Las experiencias realizadas por Bogomolova et al. (2020) y Habig (2020) en el aprendizaje de anatomía y química orgánica respectivamente, concluyen que la tecnología de RA es útil para mejorar los procesos de aprendizaje, reduciendo la carga cognitiva externa de los estudiantes con habilidades espaciales bajas, y destaca la relevancia que puede tener la RA para visualizar y comprender conceptos complejos.

Una ventaja adicional en el aprendizaje, es que la tecnología de RA nos permite recrear de forma virtual cualquier objeto físico y, mediante una interfaz tangible, podemos manipularlo para obtener información de él, impulsando así el aprendizaje proactivo (8 de 17). Esto se debe a que la RA posibilita reemplazar los recursos físicos por objetos virtuales, lo que nos hace entender que nos encontramos ante una herramienta educativa con una gran potencialidad para mejorar la asimilación de contenidos y los procesos de enseñanza-aprendizaje en los próximos años, en cualquier área y, fundamentalmente, en todos los contenidos donde la inteligencia espacial es especialmente relevante, como

sucede en las materias STEM (del Cerro y Morales, 2018). Asimismo, la tecnología de RA permite al usuario que pueda interactuar y observar las características de los modelos tridimensionales desde diferentes vistas arbitrarias para aumentar su comprensión espacial (Chen et al., 2011).

Gómez-Tone et al. (2020), señala que la interacción tangible con los objetos en RA es un valor de aprendizaje agregado que contribuye a mejorar la comprensión del concepto del espacio. Resultados muy similares se obtuvieron en la investigación desarrollada por Bogomolova et al. (2020) sobre una aplicación de modelos anatómicos estereoscópicos tridimensionales, resaltando las ventajas que tiene la RA para potenciar el aprendizaje colaborativo y proactivo.

Además de conseguir potenciar el aprendizaje proactivo del alumnado, la RA despertó su indagación y necesidad de saber más. Los estudiantes tienen la posibilidad de verificar y evaluar la corrección y precisión de los resultados de sus ejercicios de forma autónoma a través de la RA. En la experiencia realizada por del Cerro y Morales (2021a) para el estudio de funciones matemáticas, el grupo experimental podía dibujar, analizar e interpretar varios gráficos al mismo tiempo a través de la RA sin tener que realizar cálculos algebraicos, tabla de valores o trazar a mano cada uno de ellos, esto hizo que generalmente completaran las actividades propuestas en clase en un tiempo inferior que el grupo de control, factor que puede haber contribuido a la profundización de contenidos y a una mayor puntuación en la prueba de contenidos específicos que la obtenida por el grupo de control.

Por todo ello, es fundamental fomentar el aprendizaje tangible y proactivo, estas metodologías pedagógicas basadas en aprender-haciendo, abogan por experiencias experimentales centradas en la adquisición de conocimientos que generan un aprendizaje más significativo y profundo.

Los resultados de la revisión también indican que la RA puede mejorar la motivación, el interés y la actitud positiva hacia el aprendizaje de los estudiantes (6 de 17). Estos factores tienen una relación directa en la mejora del rendimiento académico de los estudiantes, y en el aprendizaje de conceptos tanto básicos como abstractos (Martín-Gutiérrez et al., 2010; Lin et al., 2015; Liao et al., 2015; Gómez-Tone et al., 2020; del Cerro y Morales, 2021a).

En cuanto al nivel educativo, de las 17 investigaciones seleccionadas para la RS, 11 se realizan en niveles de educación superior y 6 en educación secundaria, predominando las aplicaciones metodológicas de la RA en áreas de tecnología, expresión gráfica (dibujo técnico) y matemáticas, lo que demuestra una tendencia generalizada en el campo de la formación de habilidades espaciales en los estudiantes de educación superior.

3.1.4.4. Herramientas y recursos en RA para el desarrollo de la inteligencia espacial (PI4)

Tal y como se registra en la Tabla 3.5, los dispositivos o sistemas de RA que emplean los estudios seleccionados son: dispositivos móviles (8 de 17), ordenador con webcam (6 de 17) y gafas o cascos de tipo Head Mounted Display (HMD) (3 de 17).

Los dispositivos tipo HMD se emplearon en las primeras experiencias con RA en educación en los años 2000 (Kaufmann y Schmalstieg, 2002; Dünser et al., 2006) como dispositivos de visualización que permitían superponer objetos virtuales sobre una pantalla ubicada muy cerca de los ojos. No obstante, debido a su alto coste económico, a que no estaba extendida la tecnología requerida para su uso y a las limitaciones que tenían los kits de desarrollo de software (SDK), los dispositivos HMD no llegaron a expandirse en la sociedad. Tras años con interés limitado por parte de los desarrolladores y de la sociedad, los gigantes tecnológicos están retomando los dispositivos HMD en el ámbito educativo, posibilitando el desarrollo de experiencias de aprendizaje a través modelos tridimensionales en tiempo real para que los estudiantes aprendan de forma inmersiva. Un ejemplo, de ello, es la experiencia realizada con el dispositivo HoloLens (Bogomolova et al., 2020), que permite que los hologramas médicos se puedan ver estereoscópicamente en tiempo real con el cuerpo humano. Todo señala a que en unos años este tipo de dispositivo se integrará en el día a día de los ciudadanos y se extenderá su uso como herramienta de aprendizaje.

Sin embargo, actualmente los HMD son una excepción dentro de la RA en educación, ya que la gran mayoría de aplicaciones son desarrolladas para dispositivos móviles por su omnipresencia en la sociedad. Se puede observar que a partir del año 2011 se empiezan a integrar los dispositivos móviles como plataforma de hardware para la realización de las experiencias con RA, destronando a las experiencias que hasta esa fecha utilizaban el ordenador con

webcam. En el trabajo de Camba et al. (2014) se indicó que la potencia de procesamiento gráfico suele ser inferior en los dispositivos móviles con respecto a los ordenadores personales, lo cual puede limitar la integración de modelos más realistas, detallados, con animaciones y la activación de RA sin marcas (Markerless). Por otro lado, el trabajo de De Ravé, E. et al. (2016) destacan algunos beneficios de estos dispositivos para el aprendizaje móvil (M-learning) o deslocalizado, como son la ubicuidad y el acceso flexible fuera del aula. Es por todo ello, y tras realizar la RS, conviene destacar el papel del aprendizaje a través de la RA móvil (MAR), que tiene la capacidad de ayudar a romper barreras económicas, limitaciones económicas y diferencias entre zonas rurales y urbanas. Además, la continua mejora del hardware de los dispositivos móviles y su reducción de coste, los posiciona como la primera herramienta de acceso a la información a nivel mundial (del Cerro y Morales, 2018). Esta tendencia coincide con la mayor parte de los estudios seleccionados, pues en ellos, se utilizan los dispositivos móviles como soporte de la tecnología en RA como herramienta de mejora para la inteligencia espacial.

Antes de llevar a cabo las distintas experiencias en el aula, la mayoría de los autores generaron fichas de trabajo o libros aumentados activables a través de una selección muy heterogénea de software o aplicaciones (Tabla 3.5). Para generar este material de trabajo, el profesorado debe disponer de conocimientos suficientes, en este sentido, algunos autores diseñan sus propias fichas de actividades o materiales de trabajo REA en lo que llaman “producción de materiales aumentados” cuyo proceso de producción es generalmente sistemático y secuencial (del Cerro y Morales, 2017).

3.1.4.5. Limitaciones de la RA en la mejora de la inteligencia espacial (PI5)

Tras comprobar las numerosas ventajas de la RA, varios investigadores indican que hay que considerar ciertas limitaciones que esta tecnología podría plantear en términos de mejora de las habilidades espaciales en materias STEM (Tabla 3.9). Estas limitaciones se ven acentuadas por el hecho de que la aplicabilidad de la RA en la educación está todavía en una etapa temprana y se necesita investigar más (2 de 17).

Tabla 3.9. Limitaciones la RA en la mejora de la inteligencia espacial

Limitaciones	n:	Investigación de muestra
Escasez de material didáctico aumentado	6	Lin et al., 2015
Falta de oportunidades en la formación docente	5	Del Cerro y Morales, 2021a
Herramientas de evaluación	5	Dünser et al., 2006
Poco efectiva en estudiantes con un nivel alto de habilidades espaciales	3	Chen et al., 2011
Tecnología poco extendida	2	Rohendi et al., 2018

La limitación más reiterada por los investigadores resalta la escasez de material didáctico aumentado disponible (6 de 17). En su experiencia en expresión gráfica, Gómez-Tone et al. (2020) advirtieron que quizás surjan problemas, cuando los estudiantes soliciten más material didáctico en RA para apoyar los contenidos. Sin embargo, la falta de recursos y el diseño de materiales aumentados a través de SDK requieren de un gran esfuerzo y está orientado a docentes con conocimientos en programación y diseño asistido por ordenador.

Esto último, está directamente relacionado con la falta de formación docente en tecnologías emergentes como la RA (5 de 17), y a la inexistencia de principios de diseño e integración de metodologías a través de RA (Habig, 2020). Por lo que la necesidad de recursos para el profesorado y las escasas oportunidades de formación docente, limitan la incorporación de la RA en las aulas (Del Cerro y Morales, 2021a). Además, conforme va avanzando esta tecnología, y aunque los SDK van teniendo una interfaz cada vez más directa e intuitiva, es necesario una mayor formación para implementar representaciones animadas a una mayor resolución gráfica (Lin et al., 2015).

En tercer lugar, las futuras investigaciones deben incidir en una mejor evaluación de la inteligencia espacial y los efectos de la RA en la retención de aprendizajes largo plazo (5 de 17). Algunos autores proponen al respecto, la realización de estudios empíricos basados en cómo la RA puede crear de manera efectiva aprendizajes a largo plazo en los estudiantes (Bogomolova et al., 2020; Gómez-Tone et al., 2020; Del Cerro y Morales, 2021a). Por otro lado, según Dünser et al. (2006), las medidas de habilidad espacial tomadas no cubren todas las capacidades visoespaciales que se utilizan cuando se trabaja en un espacio tridimensional, por lo que demanda nuevas herramientas para medir la inteligencia espacial directamente en 3D. Gutiérrez et al. (2016) propone como

posible solución, la inclusión de pruebas de autoevaluación virtuales a través de software y aplicaciones en RA.

Algunas investigaciones (3 de 17), resaltan que los estudiantes no muestran mejoras significativas en sus habilidades espaciales, cuando partían con un nivel visuoespacial alto (Chen et al., 2011; Lin et al., 2015). Por lo que los efectos de la RA en la inteligencia espacial de estos estudiantes son inferiores (Omar et al., 2019), esto puede ser debido a que el rango de mejora de su inteligencia espacial es menor que el del alumnado que parten con un nivel medio-bajo.

3.1.5. Conclusiones del estado del arte

La revisión sistemática de la literatura revela que la tecnología de RA, acompañada de una metodología adecuada, tiene un efecto positivo en el desarrollo de la inteligencia espacial de los estudiantes de materias STEM. Si bien, a lo largo de esta última década, ha habido un aumento en los estudios sobre aplicaciones educativas de RA en materias STEM, existen muy pocas investigaciones formales centradas en el impacto de la RA en la inteligencia espacial de los estudiantes.

Para obtener información de las habilidades espaciales de los estudiantes, los autores emplearon como herramientas de evaluación pruebas estandarizadas o cuestionarios validados psicométricamente, siendo las habilidades espaciales comúnmente más evaluadas la visualización y la rotación espacial. Por otro lado, esta RS reveló que la combinación de la tecnología de RA y una metodología adecuada en entornos educativos proporciona una experiencia de aprendizaje inmersiva para los alumnos. Son numerosos los beneficios obtenidos al utilizar este enfoque en contextos de materias STEM: la mejora del aprendizaje cinestésico y colaborativo, las visualizaciones, la tangibilidad con objetos interactivos, el aumento de la motivación, la satisfacción y la predisposición a aprender de los alumnos. Asimismo, el uso de esta tecnología favorece a la alfabetización digital, una habilidad que va más allá de la pericia técnica para utilizar dispositivos digitales y que Zapata (2015), la define como una combinación de destrezas técnico-procesales, cognitivas que son necesarias para vivir, aprender y trabajar en una sociedad digital.

Al comparar las metodologías que emplean tecnología de RA con otros tipos de herramientas pedagógicas tradicionales, en el aprendizaje de materias STEM con

gran parte de los contenidos de carácter visuoespacial, los resultados indican que las ganancias de aprendizaje son mayores cuando en las intervenciones se emplean recursos de RA. El estudio evalúa los logros de aprendizaje y académicos de los estudiantes a través de las calificaciones obtenidas, y aborda otros factores, como la tangibilidad y la motivación, que han influido positivamente en los resultados de aprendizaje de los estudiantes. Por ello, podemos afirmar, que el valor de cualquier tecnología que se integre en el aula depende en gran parte de la involucración de los estudiantes, siendo la RA una tecnología muy aceptada por el alumnado. Es importante tener en cuenta que las habilidades espaciales poco desarrolladas actúan como una barrera para el éxito en el aprendizaje de materias STEM (Gómez-Tone et al., 2020), por lo que la incorporación temprana de RA en estas materias facilitará el aprendizaje a lo largo de los cursos académicos en estas áreas.

Desde el año 2011 hasta la actualidad, los dispositivos móviles se posicionan como la herramienta más utilizada para el uso de RA en la mejora de la inteligencia espacial. En concreto, presentan una serie de ventajas pedagógicas a la que se suman otras operativas, como que se trata de una herramienta de la que disponen prácticamente todos los estudiantes a partir de educación secundaria, y que ofrece enormes posibilidades de interacción en los ambientes de aprendizaje; es flexible, de tamaño reducido, de fácil uso y su costo puede ser en algunos casos bajo (Rivera Alvarado et al., 2018). Por todo ello, se puede afirmar que el binomio RA-dispositivos móviles está siendo de gran apoyo en el proceso de inclusión de la tecnología de RA en la educación, así como en la formación permanente y en múltiples contextos, en lo que hoy se denomina ecologías del aprendizaje. Además, la competencia tecnológica y comercial del sector de los dispositivos móviles favorece, en gran parte, los avances tecnológicos de la RA. Igualmente, se hace necesario seguir investigando en el binomio RA-dispositivos móviles que, utilizada de forma adecuada, pone al alcance de todas las personas la posibilidad de mejorar las habilidades visuoespaciales y en el acceso a la información, contribuyendo, de esta forma, a alcanzar un desarrollo sostenible promovido por el ODS 4 (Educación de Calidad), en el que una de sus metas se centra precisamente en “garantizar que todos los estudiantes adquieran los conocimientos y las habilidades necesarias para promover el desarrollo sostenible” (del Cerro y Morales, 2018).

No podemos dejar pasar por desapercibido el hecho de que cualquier desarrollo tecnológico “per se”, no representa un progreso en el desarrollo de la inteligencia espacial o en el aprendizaje. Se requiere que quienes participan en el diseño de estos ambientes aumentados conozcan los recursos tecnológicos disponibles, así como las ventajas y limitaciones de éstos para poder relacionarlos con los objetivos, contenidos, estrategias, métodos de aprendizaje apropiados y evaluación (López, 2002). En virtud de ello, el papel del docente es de máxima importancia para garantizar una utilización educativa y de calidad (Cabero et al., 2004). Por esta razón, es necesario insistir en la necesidad de mayores oportunidades de formación docente en TIC emergentes y la elaboración de más materiales aumentados en forma de Recursos Educativos Abiertos (REA) para el profesorado.

3.2. Diseños Experimentales, Análisis y Resultados

3.2.1. Recursos Aumentados Abiertos para una Educación Sostenible

3.2.1.1. Motivación

Recursos Aumentados Abiertos

La RA no sólo puede hacer más sencillos los procesos de enseñanza-aprendizaje, sino que además los presenta más interesantes y motivadores y, por ello, una de sus utilidades más frecuentes en educación es completar o aumentar libros de texto o material escrito elaborado por el docente. En este sentido, existen estudios (Marshall, 2005), que afirman que los alumnos siguen prefiriendo el libro real al libro digital por sus ventajas (facilidad de transporte, robustez, etc.). Estos factores hacen que se opte por aumentar y mejorar estos materiales escritos en soporte físico a través de la RA para ofrecer nuevas posibilidades de interacción tanto dentro como fuera del aula.

Una de las primeras experiencias educativas donde se incorpora esta tecnología, fue a través de la propuesta de *Magic Book* (Bollinghurst et al., 2001), donde se aumenta el libro mediante RA con la superposición de contenido virtual y animaciones en 3D. Este libro aumentado tiene todas las características físicas de un libro ordinario con el aliciente de que, a través de la RA, la historia escrita en

el libro se representa en un espacio tridimensional ubicado sobre marcas o imágenes de las páginas, correspondiéndose en la escala establecida por los autores del mismo a un “Virtual Augmented Book” or a Traditional AR Book como se muestra en la Figura 3.6.

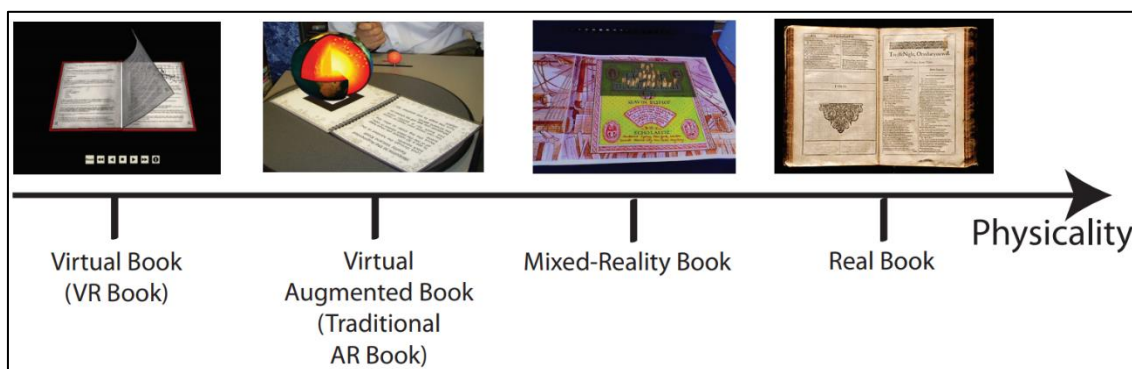


Figura 3.6. Virtuality-Reality Book Continuum

Las experiencias educativas basadas en RA se distan de los métodos tradicionales de enseñanza por las siguientes características fundamentales:

- i. **Capacidad Colaborativa:** la relación interacción-colaboración entre los estudiantes es uno de los objetivos primordiales de todo entorno educativo (Roussos et al., 1999; Ballew et al., 2015). En este aspecto, la RA nos va a permitir aumentar la capacidad colaborativa del aula al habilitar a múltiples usuarios el acceso a un espacio compartido de recursos virtuales. Esta característica es especialmente importante para cualquier nivel educativo, pues permite que nuestros estudiantes puedan combinar de una forma efectiva numerosas herramientas ICT a través de la tecnología de RA. Este sistema de trabajo colaborativo se puede potenciar, aún más, si se integran servicios de alojamiento de estos recursos multimedia en la nube como Google Drive, Google Classroom, Dropbox, OneDrive, etc. De esta forma, podemos colaborar compartiendo nuestro material y haciéndolo plenamente disponible para ser usado por educadores y estudiantes, sin la necesidad de pagar derechos de licencia, estos recursos con fines no comerciales se conocen como Recursos Educativos Abiertos (REA).
- ii. **Interacción Continua:** desde un punto de vista del aprendizaje tradicional, cuando dos o más estudiantes trabajan juntos en un espacio común, éstos lo utilizan como medio de comunicación. En este sentido,

aplicando la tecnología adecuada permitimos a los alumnos interactuar con el mundo real y el virtual al mismo tiempo. Durante una clase magistral, la atención se centra en la pizarra, sea digital o no; al aplicar tecnología de RA en nuestra clase, la atención discurre en torno al centro de trabajo colaborativo, pasando la pizarra a un plano diferente, que no secundario (Kiyokawa et al., 2002). Este es uno de los pilares de los entornos aumentados de aprendizaje, la unión de una metodología tecnológica educativa mediante RA combinada con los recursos tradicionales como la pizarra o el libro de texto. Por otro lado, utilizando herramientas como los dispositivos móviles para llevar a cabo este tipo de actividades con RA, el estudiante tendría acceso en todo momento y en cualquier lugar a estos recursos, lo que acentúa aún más el significado de interacción continua a través del Mobile Learning o M-Learning. Los proyectos desarrollados por la UNESCO (2013) han mostrado que los dispositivos móviles permiten la alfabetización, promueven la motivación de los alumnos y mejoran las posibilidades de desarrollo profesional de los docentes y la comunicación entre padres, madres y profesores.

- iii. **Tangibilidad:** Generalmente, la RA permite la manipulación de un objeto a través del uso del término Tangible Interface Metaphor (Billinghurst, 2002). Los procesos de enseñanza-aprendizaje se pueden explicar más fácilmente cuando utilizamos objetos físicos, esto se debe a que estos objetos no sólo son una representación para los estudiantes, sino que además incitan al aprendizaje proactivo a través de su tangibilidad. Tanto el uso de objetos físicos, como sus representaciones semánticas, así como su disposición espacial, ayudan al alumnado a través de la manipulación a la comprensión y al aprendizaje de ciertos contenidos con alta carga visual. Es decir, la tecnología de RA nos permite recrear de forma virtual cualquier objeto físico, y mediante una interfaz tangible podemos manipularlo para obtener información de él impulsando el aprendizaje proactivo. Por lo tanto, la RA posibilita reemplazar los recursos físicos por objetos virtuales, lo que permite entender que nos encontramos ante una estrategia educativa con una gran potencialidad para mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje en los próximos años en cualquier área y, fundamentalmente, en todos los contenidos donde la inteligencia espacial es especialmente interesante, como son las materias STEM (del Cerro y Morales, 2017).

Sostenibilidad en los Recursos Aumentados

En los últimos años, se ha profundizado en reflexiones y debates en torno al derecho a una educación de calidad para todos, teniendo como prioridad el acceso de los niños y niñas a la educación basada en los aprendizajes logrados. Para conseguirlo, se requiere que el sistema educativo a nivel global logre la equidad en el acceso, en los recursos, en la calidad de los procesos educativos y, por lo tanto, en los resultados de aprendizaje. Además, es necesario que la educación sea relevante y pertinente (Heberman, 2010).

En el plano curricular, es pertinente recurrir a diseños abiertos y flexibles que puedan ser enriquecidos o adaptados en diferentes niveles en función de las necesidades educativas, aptitudes e intereses del alumnado, y de las características y exigencias de los contextos en los que se desarrollan y aprenden. Tal como señala la United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) (UNESCO, 2005; Leicht et al., 2018; UNESCO, 2014; UNESCO, 2017), lograr que el aprendizaje sea pertinente para todos exige una profunda transformación de las prácticas educativas, transitando desde una pedagogía de la homogeneidad hacia una pedagogía de la diversidad.

También, la propia United Nations (UN) en 1987 y UNESCO en 2014 y 2017, señalan que las desigualdades, la estigmatización y las discriminaciones relacionadas con el nivel de ingresos, el género, la etnia, el idioma, el lugar de residencia y la discapacidad están afectando al avance de los progresos hacia una Educación Para Todos (EPT). Es evidente, por tanto, que en el centro de esta discusión se encuentran las enormes brechas que persisten en los sistemas educativos y que afectan principalmente a grupos y personas tradicionalmente excluidos, por ellos, autores como Thomazet (2009) afirman que es necesario hacer un esfuerzo por la educación inclusiva, pues ésta pertenece al universo de la ética, la justicia social, la democracia profunda y la equidad. Otros autores (Escudero et al., 2011; Jabareen, 2012) añaden que se debe rebajar significativamente los índices de exclusión a pesar de que sea difícil llegar a una inclusión plena. No obstante, el informe de 2015 de los Millennium Development Goals (MDGs), arrojó una reducción mundial a la mitad de cantidad de niños y niñas que, en edad de recibir enseñanza primaria, no asistían a la escuela. Por tanto, se han conseguido importantes avances respecto a las seis metas de la iniciativa EPT establecidas en el año 2000 y MDGs relacionados con la educación (UNESCO, 2005).

Continuando con los avances de los MDGs e intentando salvar los numerosos desafíos para conseguir una EPT, la nueva Agenda de Educación 2030 (UNESCO, 2015) que se enmarca dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) adoptados el 25 de septiembre del 2015 y más en concreto, el Marco de Acción Educativa 2030 aprobado en noviembre de 2015 en la 38.^a Reunión de la Conferencia General de la UNESCO, suponen la hoja de ruta del ODS 4.

El ODS 4 “Educación de Calidad”, ocupa un lugar central en la consecución de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible puesto que figura como un objetivo en sí mismo de la Agenda y porque la educación no se circunscribe al ODS 4, la educación se evoca explícitamente en las metas de otros ODS o de alguna manera se relacionan con el resto de ODS. Por su parte, el ODS 4 se desglosa en 7 metas y 3 medios de implementación, si bien el objetivo global del mismo pretende: “garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje a lo largo de la vida para todos” (UNESCO, 2014; UN, 2016; Crespo et al., 2017).

Por todo ello, debemos avanzar hacia sistemas educativos inclusivos de la diversidad, enfatizando las necesidades y el acceso a la educación de las personas. El objetivo de esta contribución del compendio fue, por tanto, profundizar en las dificultades, oportunidades y avances logrados en la incorporación de las TIC a la educación, centrándonos en entornos aumentados de aprendizaje y su potencial como instrumentos o herramientas didácticas y pedagógicas dentro del aula a través de dispositivos móviles. Es decir, en la importancia del binomio RA y dispositivos móviles en el desarrollo sostenible al contribuir a una educación inclusiva, equitativa y de calidad marcada por el ODS 4 para el horizonte 2030.

Educación inclusiva y equitativa de calidad a través de la RA

De acuerdo con el objetivo o principio rector del ODS 4 “garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje a lo largo de la vida para todos” (UNESCO, 2005, 2014, 2017; Leicht et al., 2018), y antes de que este objetivo fuese enunciado, ya en 2005 la UNESCO reconoce con el premio “King Hamad Bin Isa Al Khalifa” la importancia de la utilización de las TIC en la educación para contribuir a la equidad y la calidad en la misma. En este sentido, es decir, valorando la importancia de las TIC en la educación, en la edición de 2017 correspondiente a la 9^a ceremonia del citado

premio, la directora general de la UNESCO, Audrey Azoulay, concluyó en su discurso de clausura, afirmando que debemos transmitir nuestros valores e intercambiar las prácticas pedagógicas más innovadoras y eficaces para hacer frente al desafío de la calidad y la accesibilidad. Por ello, si además las TIC son interactivas y se centran en el alumnado, caso de la RA, pueden convertirse en unas grandes aliadas para la consecución del ODS 4.

Atendiendo a la diversidad educativa, e introduciéndonos en el concepto de accesibilidad, en relación al grado o nivel que todas las personas pueden utilizar un objeto, o acceder a diversos contenidos, independientemente de sus capacidades técnicas, cognitivas o físicas, como condición necesaria para la participación, e igualmente independientemente de sus posibles limitaciones funcionales, la RA en el conjunto de las tecnologías puede realzar y mejorar la calidad de la información, así como el alcance de esta. La razón que lo explica es que la RA logra que los entornos de aprendizaje se transformen en contextuales, y esto se aprovecha desde la praxis educativa.

Desde el punto de vista inclusivo, no hay que pensar que estos elementos contextuales se deben basar exclusivamente en información en forma de texto, sino que debe de ser una información que se pueda mostrar a través de sonidos, videos, textos, imágenes, modelos 3D, etc. De esta forma se pueden adaptar los elementos aumentados para que personas con diversidad funcional puedan acceder a ellos. Además, ha de ser una tecnología accesible, ya que la accesibilidad es un derecho, no una opción (Valero, 2010), como se indica anteriormente, la RA nos permite el acceso a la información contextual de diversas formas. Por lo tanto, es importante incorporar elementos contextuales al diseño estructural de aplicaciones aumentadas dentro del aula y fuera de ella, estos elementos deben tener la capacidad de realzar y aumentar la calidad de aprendizaje al producir y distribuir contenidos constructivos acordes a cada necesidad.

No obstante, a pesar de que el potencial de la RA para favorecer a la educación inclusiva formal y no formal, aún no se ha utilizado con todo su potencial, siendo una tecnología que tiene unas ventajas indudables para estudiantes y profesores (Chang et al., 2010).

Otra de las principales razones para poner en práctica la tecnología aumentada en el ámbito inclusivo de la educación, es simplificar los procesos de aprendizaje. A través de metodologías basadas en RA podemos obtener un alto grado de simplicidad, ya que nos permite asimilar conocimientos y potenciar habilidades asociadas a la visualización e interacción de distintos tipos de contenidos digitales superpuestos a la realidad.

Lamentablemente, para aplicar la RA en un entorno inclusivo no solo nos tenemos que ceñir a las ventajas indudables de esta tecnología. Para que esta técnica pueda ser utilizada por todos, hay algunas barreras que tenemos que romper y esto, en ocasiones, no está al alcance de forma global.

En primer lugar, tiene que ser una tecnología asequible, he aquí el principal hándicap que a priori podemos tener, la adaptación de la RA a ambientes donde los dispositivos necesarios para poder utilizar esta tecnología no están extendidos. Pero, en término de "aparatos", se ha producido una democratización a nivel mundial, haciendo esta tecnología mucho más asequible y accesible a través de los dispositivos móviles.

La omnipresencia de estos dispositivos está cambiando la forma en que las personas interactúan con la información y con su entorno. La continua mejora del hardware de estos dispositivos y su reducción de coste, permite a los estudiantes poder acceder a una diversidad de plataformas, aplicaciones y materiales de aprendizaje en cualquier lugar del mundo. De hecho, en 2016 la herramienta de análisis del tráfico web StatCounter, informó que más del 50% de la navegación web de todo el mundo se realizó a través de smartphones y tablets, superando por primera vez a la navegación llevada a cabo mediante ordenadores. Por otro lado, se prevé que el mercado mundial del aprendizaje móvil crezca un 36% anual, pasando de 7,98 billones de dólares en 2015 a 37,6 billones en 2020 [42].

Asimismo, los dispositivos móviles se han convertido en portales de acceso y entrada a entornos de trabajo y aprendizaje personalizados y abiertos REA, que facilitan el aprendizaje de diversos contenidos al ritmo de cada usuario. Por si esto fuera poco, los estudiantes también pueden usar los móviles para poner en práctica las competencias del siglo XXI, incluyendo la comunicación, la colaboración y la creación de contenido. Con todo ello, insistimos en la

importancia del binomio dispositivos móviles y RA en el Desarrollo Sostenible para el horizonte 2030.

Por todo lo comentado, si bien es cierto que la mayoría de centros educativos de países en desarrollo no disponen de medios, instalaciones o recursos TIC adecuados para proporcionar un conocimiento práctico a los estudiantes, no es menos cierto, que sin la necesidad de una inversión económica en recursos TIC, la propia expansión mundial de los smartphones proporcionará una de las herramientas más utilizadas para el acceso a la información. Unida esta herramienta al hecho de que la RA ha sido catalogada como una tecnología que debe estar presente en los sistemas educativos en los próximos años, se conjuga como un binomio inseparable para garantizar una educación inclusiva, procurando la equidad y la calidad y facilitando el aprendizaje a lo largo de la vida. En definitiva, un binomio inseparable para garantizar el Desarrollo Sostenible para el horizonte 2030 (UNESCO, 2005, 2014, 2017; Leicht et al., 2018).

El binomio RA-dispositivos móviles en una unidad formativa de la asignatura Tecnología

Entre los principios del aprendizaje constructivista, es de sobra reconocido el rol del profesor como mediador y guía durante el proceso de adquisición y asimilación de conocimiento, en consecuencia, y considerándolo como principal medio para el aprendizaje de sus alumnos, el docente debe estar permanentemente actualizado y debe construir espacios apropiados de enseñanza-aprendizaje. De acuerdo con esta idea, el profesor ha de facilitar la aproximación a los contenidos mediante los materiales y los recursos variados y más adecuados. En este sentido, son diversos los autores que afirman que los materiales y recursos basados en la visualización son la mejor forma de comprender o memorizar, ya que a través de una imagen los estudiantes pueden obtener mucha más información que a partir de un texto o una explicación teórica (Campillo et al., 2018; Steding y Holthoff-Detto, 2016; Rönnlund et al., 2017; Lenehan et al., 2015, Kaufmann y Schmalsteig, 2002).

De acuerdo con lo dicho sobre la creación o producción de materiales basados en la visualización, a través de la RA, podemos vincular la historia escrita en cualquier libro con un espacio digital y/o tridimensional, siendo ésta una de las líneas de trabajo de las editoriales para empezar a presentar sus materiales complementarios o de apoyo en RA, hasta ahora ofrecidos mediante un DVD adjunto al libro de texto o licencias digitales.

No obstante, a lo indicado en el párrafo anterior y teniendo en cuenta que el profesor no tiene necesariamente que seguir el libro de texto, puede generar sus propias fichas que vincula a objetos en RA. Para ello, es evidente que el profesor debe disponer de conocimientos suficientes, este sentido, algunos autores (del Cerro y Morales, 2017), diseñan sus propias fichas de actividades o materiales de trabajo REA en lo que llaman “Producción de Materiales Aumentados” que generalmente es sistemática y secuencial.

3.2.1.2. Materiales y Método

En esta investigación, primeramente se realizó un recorrido descriptivo sobre la RA y sus características como recurso metodológico apoyado en dispositivos móviles para el proceso de enseñanza-aprendizaje como recurso metodológico en una enseñanza inclusiva para el desarrollo sostenible, posteriormente se concretó con un ejemplo empírico utilizando como técnica la RA y como herramienta los dispositivos móviles para la producción de materiales aumentados en una unidad formativa de la materia de tecnología, por último se procedió al análisis del impacto de la RA como recurso educativo y en la inteligencia espacial del alumnado.

Se diseñaron unas fichas de trabajo aumentadas que se leen mediante la cámara de un dispositivo móvil a través de una aplicación. Para este propósito, se utilizó el software de desarrollo *layar* para elaborar y vincular el contenido digital en RA por medio del smartphone (vídeos, galerías interactivas de imágenes, modelos 3D, enlaces web, etc.), vinculadas, mediante la técnica sin marcas o markerless a las fichas de trabajo elaboradas por el profesor para la unidad formativa “La energía y su transformación” (Figura 3.7).

Tecnología
La energía y su transformación


10. Energía eólica

Es la energía producida por el viento. Su utilización a lo largo de la historia de la humanidad en los molinos de viento o en los barcos de vela nos da idea de su importancia en tiempos pasados.


En la actualidad, el aprovechamiento de la energía eólica se centra en el bombeo de agua de pozos y en la producción de energía eléctrica. La producción de energía eléctrica a partir de la fuerza del viento se realiza en las **centrales eólicas**. Estas instalaciones están formadas básicamente por un conjunto de **aerogeneradores** o molinos de viento.

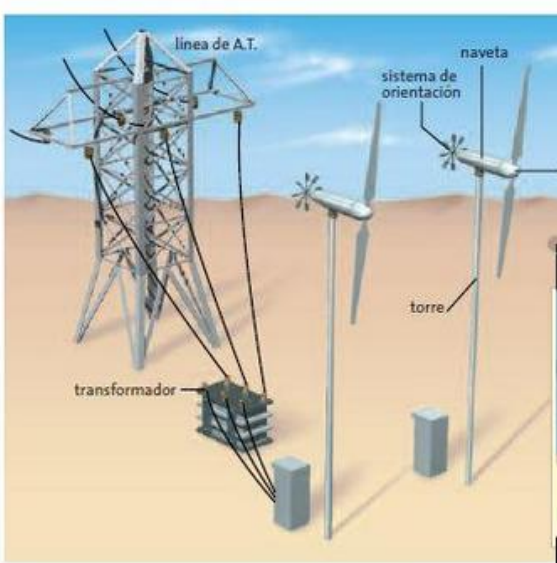
Cuando el viento mueve las **palas** del aerogenerador, se produce un movimiento de rotación en el eje de la **turbina**. Un **sistema de transmisión** multiplica las vueltas del eje y, a la vez, transmite el movimiento de giro al eje del **alternador**, que genera energía eléctrica.

El aerogenerador, que está situado a una cierta altura del suelo, soportado por una **torre**, ha de estar constantemente orientado en dirección perpendicular al viento, cosa que se consigue con un **sistema de orientación**.



El aerogenerador, que está situado a una cierta altura del suelo, soportado por una **torre**, ha de estar constantemente orientado en dirección perpendicular al viento, cosa que se consigue con un **sistema de orientación**.








Figura 3.7. Ficha de trabajo con contenido en RA

La lectura de la ficha anterior mediante la aplicación *layar* genera tres tipos de materiales aumentados, en concreto, un vídeo explicativo del funcionamiento de un aerogenerador, un mapa de los parques eólicos en España, y una imagen 3D de un aerogenerador que el alumno puede analizar con pequeños giros o movimientos de su smartphone o tablet que generan distintas vistas o perspectivas del aerogenerador en RA (Figura 3.8).

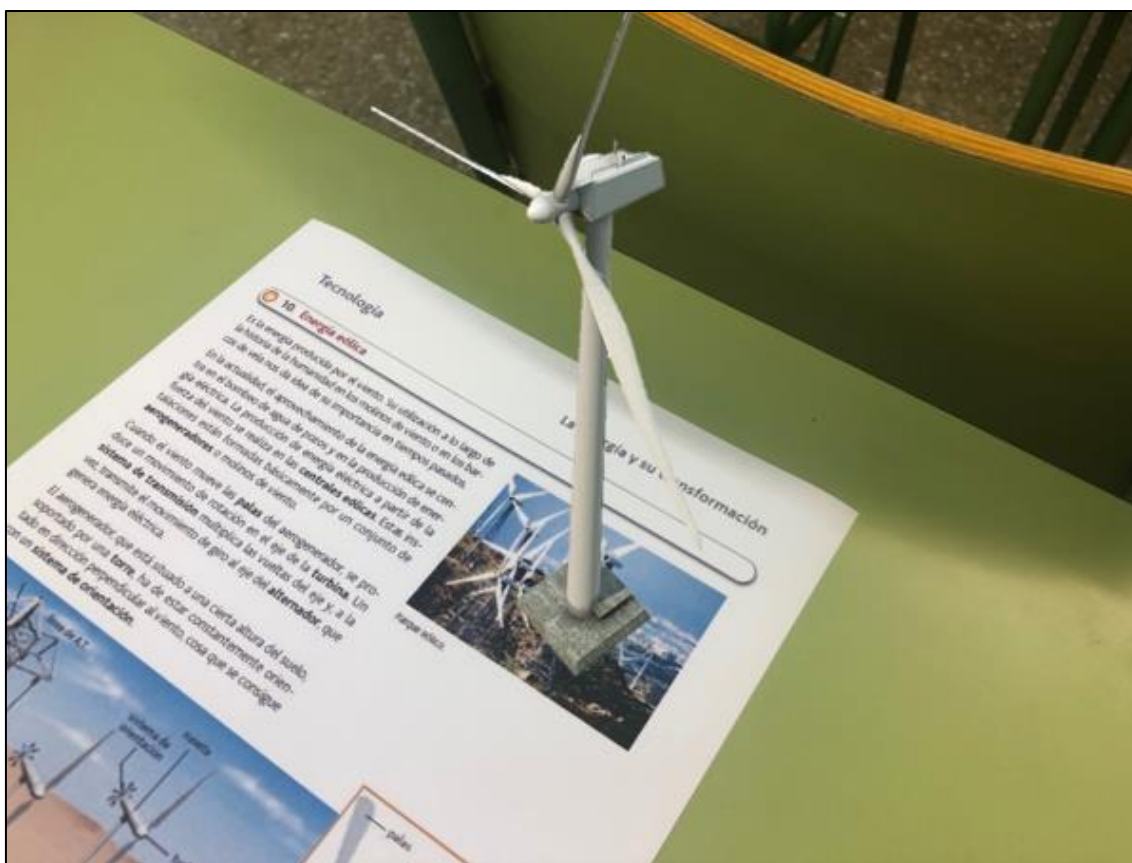


Figura 3.8. Aerogenerador tridimensional activado en RA

Una vez generadas las fichas de trabajo (Apéndice C), el estudio se centró en valorar los efectos en el aprendizaje después de implementar las citadas fichas de material aumentado en la unidad formativa, antes comentada, de la materia Tecnología. En concreto se trabajó con dos cursos de 3º de Educación Secundaria Obligatoria (ESO), el grupo experimental (grupo 1) utiliza el material aumentado para el aprendizaje de la unidad formativa y el grupo de control (grupo 2) emplea el libro de texto.

Las herramientas de recolección de datos empleadas en la investigación se dividen en tres secciones, tal y como se muestra en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Diseño y método de las herramientas de recogida de datos

Herramienta	Método
Prueba Escrita Grupo 1	Se requiere que cada estudiante complete una prueba escrita de forma independiente.
Prueba Escrita Grupo 2	Se requiere que cada estudiante complete una prueba escrita de forma independiente.
Cuestionario Grupo 1	Se pide a cada estudiante que complete un cuestionario personal.

Como pregunta de la investigación se planteó si existe una diferencia significativa entre las calificaciones obtenidas por los estudiantes utilizando técnicas de RA y el uso de métodos de enseñanza tradicionales. Para responder a esta cuestión se empleó un modelo t-test comparando los promedios de las dos muestras de datos.

Se plantearon como hipótesis: hipótesis nula "H0", cuando no existe diferencia entre las puntuaciones de la prueba escrita del grupo 1 y 2. Por otro lado, una hipótesis alternativa "H1", tendría lugar en caso de que exista una diferencia entre las puntuaciones de la prueba escrita del grupo 1 y 2.

La prueba escrita que realizaron ambos grupos fue idéntica, basándose en los contenidos impartidos en la unidad formativa y los estándares de evaluación vinculados a ella, por lo que ambas muestras de estudiantes fueron expuestas a un examen común para evaluar el impacto de la técnica de RA.

Al finalizar la experiencia, se proporcionó un cuestionario de escala Likert a los estudiantes del grupo 1 que habían completado el desarrollo de la unidad formativa con material aumentado. Para identificar la factibilidad y la percepción de los estudiantes sobre la experiencia el cuestionario se centró principalmente en los siguientes puntos:

- i. La utilización tecnología de RA en los procesos de enseñanza-aprendizaje.
- ii. La contribución de herramientas de RA para una mejor comprensión de contenidos.
- iii. La dificultad de uso de herramientas y aplicaciones de RA.
- iv. El aprendizaje de contenidos implementando técnicas de RA.

3.2.1.3. Análisis de datos

Para llevar a cabo el análisis de datos se utilizó el software estadístico Statistical Package for the Social Sciences SPSS para Windows, versión 24 (IBM Corp., Armonk, NY, USA), utilizando metodología cuantitativa para analizar los datos obtenidos de las pruebas escritas y el cuestionario. Se realizó un t-test de tipo independiente sobre las puntuaciones obtenidas en las pruebas escritas del grupo 1 y 2, para determinar las diferencias entre ellos. Posteriormente, se realizaron cálculos estadísticos descriptivos para cada ítem del cuestionario, incluyendo la puntuación promedia, la desviación estándar y los valores máximo y mínimo.

Además, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para identificar la diferencia de medias entre los dos procesos de aprendizaje.

3.2.1.4. Resultados

La prueba escrita fue realizada por 56 estudiantes (29 pertenecientes al grupo 1 y 27 al grupo 2), considerándose todas ellas válidas para el estudio. La puntuación máxima de la prueba es de 10 puntos, realizándose un Test-t independiente para las variables de puntuación del grupo 1 y el grupo 2. Los resultados se muestran en la Tabla 3.11. Las notas medias del grupo 1 y 2 fueron 7.51 y 4.48 respectivamente, con estos datos se observó que la puntuación media obtenida en la prueba escrita por el grupo 1 es superior a la del grupo 2.

Table 3.11. Test-t sobre las puntuaciones obtenidas en la prueba escrita

	N	Maximum	Minimun	Median	Media	Std. Deviation	Std. Error Mean
Grupo 1	29	9.6	2.1	7.6	7.51	17.75842	3.723
Grupo 2	27	7.2	1.8	4.1	4.48	15.69714	3.248

Este resultado muestra claramente que las calificaciones medias del grupo 1 tienen una mejora del 67.63% respecto de las calificaciones medias del grupo 2, como se muestra en la siguiente expresión:

$$Mejora (\%) = \frac{Media\ Grupo\ 1 - Media\ Grupo\ 2}{Media\ Grupo\ 2} \cdot 100 = \frac{7.51 - 4.48}{4.48} = 67.63\%$$

La tabla 3.12 muestra los resultados de la prueba para dos muestras independientes. De acuerdo con los resultados, el valor significativo del test Levene obtuvo un valor superior a 0.05. Por lo tanto, la variabilidad en las dos condiciones fue la misma, lo que evidencia que las calificaciones obtenidas por el grupo 1 no varió significativamente en comparación con las calificaciones del grupo 2. Por lo tanto, se presupone una varianza de igual valor.

Table 3.12. Resultados del test Levene y t-test

	Levene's Test for quality of Variance		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	T	Df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Marks Equal variances assumed	0.058	.842	4.392 4.431	52.014	.000	3.03	4.697	1.152	3.084

Equal variances not assumed				51.976	.000	3.03	4.651	1.147	3.075
-----------------------------	--	--	--	--------	------	------	-------	-------	-------

En la figura 3.9 podemos observar las diferentes calificaciones obtenidas por los estudiantes mediante el uso de la tecnología de RA como herramienta de aprendizaje y con el método tradicional de enseñanza. El resultado revela que el 23.16% de los estudiantes que emplearon técnicas de RA para el aprendizaje obtuvieron en el examen calificaciones entre [4-6), mientras que el 26.14% de los estudiantes se sitúa en el mismo intervalo de puntuación con el método de enseñanza tradicional. Sin embargo, el 42.76% de los estudiantes obtuvieron calificaciones entre [6-8) con RA, mientras que el 28.13% de los estudiantes obtuvieron calificaciones de este intervalo con métodos de enseñanza tradicional. Con RA, el 28.2% de los estudiantes logró calificaciones entre [8-10], no obteniendo ningún estudiante con el método de enseñanza tradicional ninguna puntuación entre el intervalo más alto. Como resultado, se revela que el número de estudiantes que obtiene una nota superior a 6 en la prueba escrita es significativamente mayor en el grupo de estudiantes que utilizó técnicas de RA como herramienta de aprendizaje, en contra de los métodos de enseñanza tradicional. Cabe resaltar la diferencia entre el número de estudiantes de ambos grupos que obtuvieron las puntuaciones más altas.

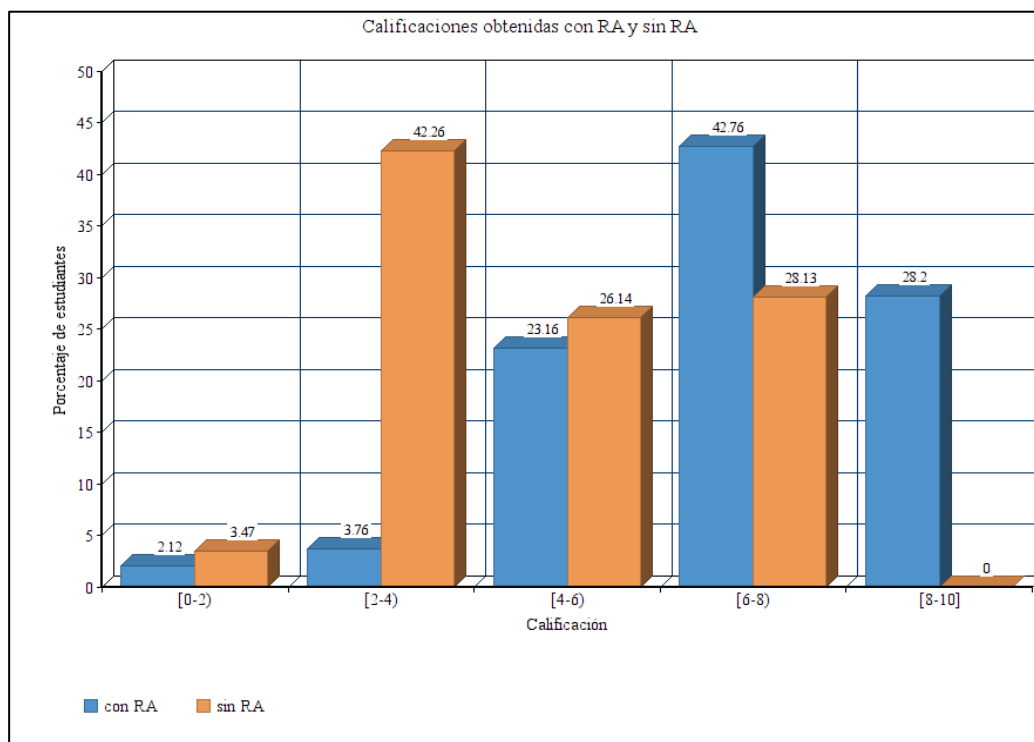


Figura 3.9. Calificación de la muestra de estudiantes en la unidad formativa de tecnología mediante el uso de RA y sin RA

En relación con los datos obtenidos del cuestionario de escala Likert, más del 56.92% de los estudiantes estaban muy interesados en el uso de la RA como herramienta de enseñanza (Figure 3.12.a). El 27.84% de los estudiantes estaban conformes con utilizar recursos en RA para el aprendizaje de contenidos. Es de resaltar, que ningún estudiante estuvo en desacuerdo o muy en desacuerdo con la utilización de esta herramienta de aprendizaje. Estos resultados nos revelan el alto grado de predisposición y motivación que tienen los estudiantes para utilizar herramientas de RA en el aula.

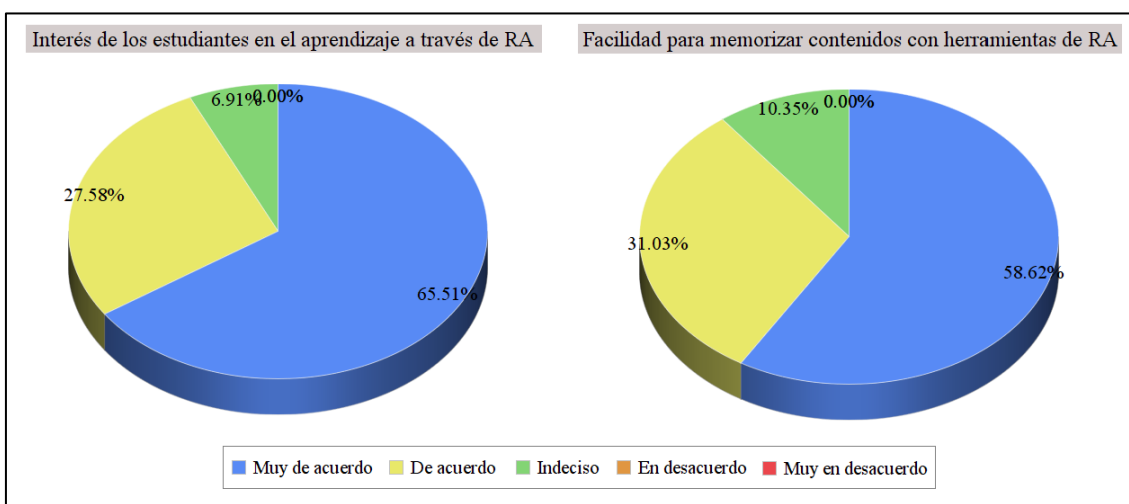


Figura 3.10. (a) Interés de los estudiantes en el aprendizaje a través de RA
(b) Facilidad para memorizar contenidos con herramientas de RA

La figura 3.10.b muestra el parecer de los estudiantes sobre la facilidad de memorizar contenidos a través de herramientas de RA. Del total, el 58.62% de los estudiantes están muy de acuerdo con la facilidad de memorizar contenidos altamente visuales a través de herramientas de RA, y el 31.03% está de acuerdo con la afirmación anterior. Ninguno de los estudiantes estuvo en desacuerdo o muy en desacuerdo con esta afirmación. Este resultado nos revela que el uso de herramientas de RA fue útil para que los estudiantes comprendieran y memorizaran de una forma más efectiva los contenidos de la unidad formativa “La energía y su transformación” en la asignatura Tecnología de 3º de ESO.

3.2.1.5. Discusión

Teniendo en consideración el análisis de datos sobre la eficacia del aprendizaje a través de entornos aumentados, las pruebas escritas y el cuestionario de escala Likert, se puede afirmar que la integración de la herramienta de RA en la unidad

formativa citada, tuvo efectos significativos en el aprendizaje de los contenidos vinculados a esta.

En primer lugar, las puntuaciones de la prueba escrita de los estudiantes que estuvieron expuestos a un método de enseñanza tradicional fueron significativamente inferiores que las calificaciones del alumnado que había utilizado tecnología de RA. En segundo lugar, el uso de tecnología de RA en el aula aporta un aprendizaje más significativo para estudiantes con un rendimiento por debajo de la media que para estudiantes con alto rendimiento. La principal causa de esta disparidad es que las calificaciones de los estudiantes con un rendimiento alto tienen un espacio de mejora bastante limitado. Estos datos, como parte de un conjunto más amplio de indicadores para la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS), sirven para promover la comparación del rendimiento entre estudiantes, el monitoreo y la recopilación de datos (Tilbury et al., 2017; Zou et al., 2015), además de fomentar los procesos de evaluación comparativa y promover el acceso a los REA a través de las TIC.

No obstante, representar las mejoras de aprendizaje del alumnado empleando como instrumento de evaluación una prueba escrita no es lo más indicado, especialmente cuando el objetivo principal de la tecnología de RA es ayudar a los estudiantes a desarrollar habilidades de resolución de problemas y de exploración basadas en la investigación en lugar de la memorización cognitiva. La RA proporciona un nuevo método cognitivo y se espera que, a través de la visualización y la interacción con el medio, tenga un efecto más duradero en la memorización de contenidos en los estudiantes (Lenehan et al., 2015; Steding et al., 2016; Rönnlund et al., 2017; Campillo et al., 2018).

Tenemos que ser conscientes de que aún existen barreras para la igualdad de acceso a las TIC, que no se pueden superar simplemente con tecnologías como la RA. Insto a que, en los planes nacionales para cumplir las metas de los ODS, se establezcan objetivos específicos para lograr la igualdad de acceso y uso de las TIC apoyado por programas con fondos suficientes para garantizar que no se excluya a los grupos social o económicamente desfavorecidos.

Las políticas y estrategias nacionales en el campo de las TIC deben concentrarse en su potencial y asegurar que las instituciones y los programas educativos

cuenten con los recursos adecuados a través de REA, así como la formación de los docentes para su implementación.

3.2.1.6. Conclusiones Específicas

Desde el punto de vista de la usabilidad de herramientas de RA en el aula, podemos afirmar que es una tecnología de fácil uso, con una interfaz intuitiva y con un alto grado de interactividad. En general, la tecnología de RA nos proporciona una integración del aprendizaje proactivo en el aula mejorando la asimilación y el acceso a los contenidos. No obviamos la dificultad que conlleva para gran parte del profesorado la producción de materiales aumentados, posiblemente por la falta de formación inicial en aplicaciones prácticas con las TIC. En cualquier caso, no existe tal dificultad, sino un mero desconocimiento pues la producción de materiales aumentados es sistemática y secuencial.

Por ello, la investigación en TIC para una EDS debe de contemplarse como una de las disciplinas clave en educación, especialmente en el campo de la formación continua de los profesores (Waltner et al., 2018). Son numerosos los estudios (Bertschy et al., 2013; Radomska, 2015; Ketschau, 2017; Fleacă et al., 2018) que indican la importancia de potenciar la EDS dentro de competencias de formación de los docentes, se considera fundamental que los docentes realicen actividades de formación y aprendizaje permanente, ofreciéndoles un apoyo continuo y proporcionándoles los incentivos y la motivación profesional necesaria para potenciar el uso de las TIC con el objetivo de aumentar la calidad del aprendizaje dentro del marco de EDS.

Cabe destacar, el papel relevante de las TIC como estrategia en el desarrollo sostenible de la sociedad actual en pro de la calidad y la pertinencia del aprendizaje. Para ello, debemos de priorizar el acceso inclusivo a los dispositivos y recursos digitales, especialmente a través de REA como los materiales aumentados elaborados para esta investigación. En este sentido, las administraciones educativas deben apoyar la investigación y los estudios piloto para aprovechar las tecnologías emergentes como la RA con el fin de transformar los sistemas educativos, equiparar el acceso a las oportunidades de aprendizaje y facilitar una prestación de servicios de aprendizaje inteligente, individualizado y adaptado.

Asimismo, podemos decir que la RA es una tecnología que por los motivos que hemos visto, está empezando a introducirse en el sistema educativo. Como tecnología educativa, si se aplica de una forma adecuada, siempre de la mano de una metodología contextualizada, puede ser muy útil no sólo para facilitar los procesos de enseñanza-aprendizaje, si no para hacerlos más interactivos, motivadores e interesantes.

Igualmente, la tecnología de RA favorece la eliminación de barreras para aquellas personas con necesidades educativas especiales. Esto hace que nos planteemos la necesidad de seguir investigando y apostando por esta tecnología que, utilizada de una forma adecuada, nos brinda la posibilidad de mejorar las habilidades y el acceso a la información de todas las personas; contribuyendo, también en este sentido, a alcanzar un desarrollo sostenible a través del ODS 4, y en el que una de sus metas se centra en “garantizar que todos los estudiantes adquieran los conocimientos y las habilidades necesarias para promover el desarrollo sostenible”(UNESCO, 2005, 2014, 2017; Leicht et al., 2018).

Por último, cabe destacar que los dispositivos móviles, se han convertido en la principal herramienta de acceso a la información en distintos formatos y de forma inmediata, expandiéndose enormemente su uso en el mundo entero (StatCounter, 2016); esto, unido a la tecnología de RA, se conjuga como un binomio para garantizar una educación inclusiva, procurando la equidad y la calidad y facilitando el aprendizaje a lo largo de la vida. En definitiva, un binomio inseparable para garantizar el Desarrollo Sostenible para el horizonte 2030.

3.2.2. Realidad Aumentada en el estudio de funciones Matemáticas (A2)

3.2.2.1. Motivación

El término función en matemáticas, se define como cualquier relación entre dos o más variables que se puede representar gráficamente. El aprendizaje de funciones proporciona a los estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) su primer contacto con la identificación, visualización e interpretación de la relación entre dos variables independientes, por lo que es un punto clave de transición dentro del desarrollo matemático (Pierce, 2005). La transición cognitiva de representar gráficamente una función constante, lineal, afín, cuadrática, exponencial, de valor absoluto, de proporcionalidad inversa y logarítmica a partir de su expresión algebraica entra dentro del currículo de esta etapa educativa y tiende a ser un desafío para la mayoría de los estudiantes.

Es por ello, que esta contribución del compendio se fundamentó en la investigación integrando las TIC en el aula, donde podemos detectar sus beneficios e inconvenientes, diseñar recursos para ayudar a implementar estas herramientas tecnológicas, recopilar y analizar datos y reflexionar sobre los resultados. Estos elementos propios de la investigación acción, proporcionan el telón de fondo para que los docentes puedan recrear un entorno digital y proactivo en el aula dentro de una metodología contextualizada que favorezca los procesos de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas, con el objetivo de que los estudiantes sean protagonistas en la construcción de su conocimiento.

Son varios los estudios que afirman que la inclusión de las TIC en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas ayuda a los estudiantes a visualizar cómo los cambios de una variable afectan a otros de forma inmediata, mejorando de esta forma su experiencia e interacción con el aprendizaje en comparación con la resolución de fórmulas para obtener la respuesta (Means y Haertel, 2004; Thambi y Eu, 2013; Fuentes et al., 2020; Sanz et al., 2020; Valovičová et al., 2020).

Es común que los estudiantes asocien la representación de funciones a una colección de puntos aislados en lugar de a una sola entidad, lo que dificulta la visualización e interpretación gráfica (Moschkovich et al., 1993; Yerushalmy y Schwartz, 1993; Knuth, 2000). Como consecuencia, el alumnado no suele visualizar e interpretar correctamente las representaciones de funciones gráficas como una solución en sí, por lo que no llega a concebir el proceso de transición

del lenguaje algebraico al lenguaje visual y viceversa. Por lo cual, en esta intervención en el aula nos planteamos las siguientes cuestiones: ¿cómo podrían facilitar las TIC basadas en RA el proceso de representación, visualización y análisis de funciones algebraicas?, ¿está vinculado este proceso cognitivo-visual con la inteligencia espacial de los estudiantes?

El presente estudio se relacionó el desarrollo de las habilidades espaciales con la representación de funciones bidimensionales y tridimensionales en la asignatura de matemáticas, y se mostró que la tecnología de realidad aumentada contribuye a la mejora de las habilidades espaciales y a la comprensión de contenidos con una alta carga visual. Esto puede ser debido a la observación y experimentación de los modelos desde distintos ángulos y posiciones relativas, respetando el ritmo de aprendizaje individual de cada alumno. Existen estudios (Kaufman y Schmalstieg, 2002; del Cerro y Morales, 2018) que afirman que las capacidades visuales y espaciales pueden ser mejoradas por tecnologías emergentes como la RA. La integración de esta tecnología en el aula favorece a un enfoque constructivista del aprendizaje al permitir que los docentes lleven al aula experiencias tangibles y proactivas donde los estudiantes interaccionan y manipulan con el objeto de aprendizaje. Como educadores, debemos mostrar una actitud positiva hacia la integración de las TIC en la educación, ya que cambian eficazmente la forma en que los estudiantes aprenden (Fernández et al., 2002); sin embargo, todavía queda mucho trabajo por hacer para conseguir un desarrollo sistemático de la realidad aumentada con fines educativos.

3.2.2.2. RA como herramienta para el desarrollo de la inteligencia espacial en el aprendizaje de funciones matemáticas

Una de las primeras herramientas tecnológicas para el aprendizaje de funciones son las calculadoras gráficas que surgieron como un instrumento que posibilitan resolver sistemas de ecuaciones, representar gráficas y realizar otras tareas con variables (Doerr y Zangor, 2000). A pesar de sus beneficios, estas calculadoras presentan limitaciones a la hora de resolver y representar ciertas expresiones debido a su reducida interfaz de salida. Además, deben implementarse con cuidado, ya que muchos estudiantes presentan dificultades con la manipulación simbólica, pudiendo ser contraproducente y ralentizar la resolución de operaciones (Yerushalmy, 2006).

Con el propósito de explorar el desarrollo de la inteligencia espacial en relación con el aprendizaje de las matemáticas, nuestra experiencia en el aula giró alrededor de la aplicación de código abierto para dispositivos móviles que ayuda al aprendizaje de análisis, geometría, álgebra y cálculo, Geogebra AR. Esta aplicación matemática está diseñada específicamente con fines educativos, permite el trazado dinámico de construcciones geométricas de todo tipo, así como la representación gráfica, el tratamiento algebraico y el cálculo de funciones de forma sencilla y eficaz, lo cual nos permite utilizarla como herramienta de apoyo al estudio y de esta forma impulsar el autoaprendizaje matemático. Existe un gran volumen de investigaciones que han demostrado que Geogebra, en su versión para ordenadores personales, ha resultado efectivo para la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas (Hohenwarter y Fuchs, 2004; Rincón, 2009; Saha et al., 2010, García, 2011; Fabian, et al., 2016), mejorando la comprensión de conceptos abstractos y posibilitando su correlación a través de una experiencia de aprendizaje significativa y eficaz.

En su versión en RA, Geogebra AR nos permite generar objetos y funciones matemáticas en 3D, las cuales podemos situar sobre un plano imaginario en nuestro entorno real (Figura 3.11.a) para después poder experimentar con ellas de forma tangible, pudiéndolas visualizar y rotar con total libertad, lo que ayuda a mejorar la comprensión de la función en sí, a través del aprendizaje manipulativo. La interfaz de usuario de la aplicación Geogebra AR es directa e intuitiva, incluye en la parte inferior un apartado donde podemos introducir las expresiones algebraicas de nuestras funciones definidas de forma natural, tal y como aparecen en los libros de texto o las escribe el docente en la pizarra, a través del teclado virtual que incorpora el dispositivo móvil, generando de forma inmediata las representaciones gráficas de las funciones introducidas (Figura 3.11.b).

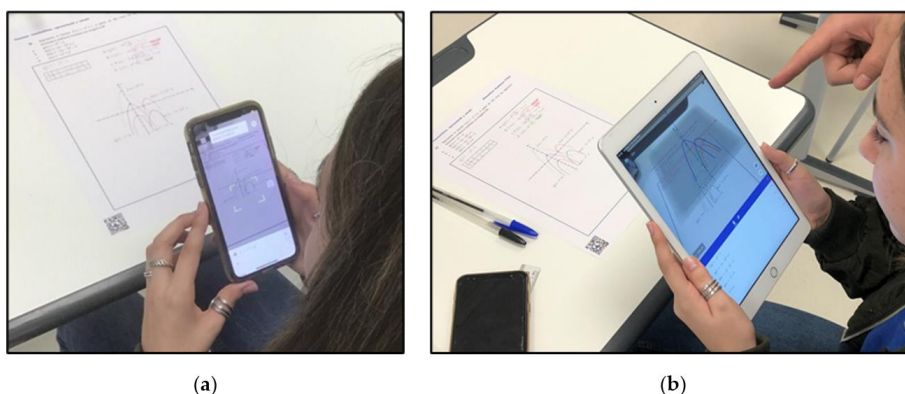


Figura 3.11. Interfaz de Geogebra AR (a) Detección de superficie
(b) Introducción y representación de funciones

Mediante el menú de la aplicación, situado en la esquina superior izquierda, podemos buscar y abrir los recursos existentes, guardar y compartir nuestro trabajo, así como realizar cambios en la configuración del programa (ocultar o mostrar los ejes, cambiar la cuadrícula de coordenadas, las distancias entre los ejes, ocultar o mostrar las descripciones o etiquetas, etc.).

El diseño de la aplicación promueve el aprendizaje y el análisis de las funciones matemáticas, no solo generándolas en RA, sino que también enfatiza el proceso cognitivo-visual que tiene lugar cuando se construye un objeto en el espacio. En particular, introducir la expresión algebraica de funciones definidas, representarlas en el espacio e interactuar con ellas en RA, es un gran paso cognitivo en la transición de la expresión algebraica, pasando por los diseños lineales en 2D, hasta llegar a la representación del objeto en 3D que abarca las cinco habilidades fundamentales de la inteligencia espacial de Maier (1994).

3.2.2.3. Metodología

Diseño de la investigación

El enfoque de investigación adoptado para la realización de este estudio se basó en un diseño cuasi-experimental, se aplicaron dos modelos pretest-postest a cada uno de los dos grupos de clase ordinarios que participaron en el estudio: uno para evaluar el nivel de habilidad espacial y otro para determinar el nivel de aprendizaje de las funciones matemáticas. El grupo experimental se sometió a una metodología contextualizada que integró el binomio RA-dispositivos móviles para el uso de la aplicación Geogebra AR en el estudio de funciones matemáticas, mientras que en el grupo de control se empleó una metodología de enseñanza-aprendizaje tradicional. Al finalizar la experiencia el grupo experimental complementó un cuestionario para obtener las percepciones de los estudiantes tras usar Geogebra AR.

Objetivos de la investigación

Como pregunta de investigación se planteó si existía una diferencia significativa respecto a la inteligencia espacial y el nivel de aprendizaje adquirido, entre los estudiantes que empleaban la aplicación de Geogebra AR en un entorno metodológico contextualizado y los que utilizaron métodos de enseñanza-

aprendizaje tradicionales. Para evaluar el alcance de estos objetivos de investigación, se establecieron las siguientes hipótesis:

- H0 (hipótesis nula): No existe una diferencia estadísticamente significativa en las puntuaciones de rendimiento e inteligencia espacial de los estudiantes expuestos a la aplicación Geogebra AR y aquellos que no están expuesto a ella.
- H1 (hipótesis alternativa): Existe una diferencia estadísticamente significativa en las puntuaciones de rendimiento e inteligencia espacial de los estudiantes expuesto a la aplicación Geogebra AR y aquellos que no están expuestos a ella.

Muestra

El número total de participantes fue de 48 estudiantes que cursaban la asignatura Matemáticas Académicas en 4º de ESO, impartida por uno de los profesores autores del estudio. Del número total de participantes el 47.92% (n=23) pertenecen al grupo experimental y el 52.08% (n=25) al grupo de control, ninguno de los alumnos presenta adaptaciones curriculares significativas. El muestreo empleado en la investigación es no probabilístico y como consecuencia no podremos generalizar los resultados con precisión estadística (Lastra, 2000).

Instrumentos de recogida de datos

En el estudio se emplearon tres instrumentos diferenciados de recogida de información: un modelo pretest-postest para evaluar la inteligencia espacial, un segundo modelo pretest-postest que lo constituye una prueba escrita de detección de conocimientos previos y otra de evaluación de los estándares de aprendizaje del bloque de contenidos de funciones dentro del currículo de la asignatura Matemáticas Académicas de 4º de ESO, y por último, un cuestionario para detectar los niveles de motivación del grupo experimental.

Existen varias pruebas estandarizadas para medir la habilidad de una persona en las dos primeras etapas de desarrollo espacial. Para nuestro estudio se ha utilizado la prueba Purdue Spatial Visualization Test: Rotations (PSVT: R) por su diseño para evaluar la habilidad de una persona en la segunda etapa del desarrollo espacial (Guay, 1977). En la Figura 3.5 ya se presentó una cuestión aleatoria extraída de la prueba PSVT: R. Este test de 12 ítems se ha utilizado como

instrumento de evaluación al inicio y al finalizar la experiencia en el grupo experimental y de control, con el objetivo de identificar el nivel de visualización y rotación espacial del que partían los estudiantes, y para evaluar el impacto en la inteligencia espacial del alumnado a través la experiencia en el aula con la aplicación Geogebra AR, como apoyo para el análisis y estudio de las funciones matemáticas.

Asimismo, y en perspectiva de evaluar el aprendizaje de las funciones matemáticas dentro del bloque de contenidos de funciones del currículo de la asignatura de Matemáticas Académicas en 4º de ESO establecido por el Real Decreto 1105/2014, se emplean como instrumentos de recogida de datos una prueba escrita individual de detección de evaluación inicial de conocimientos y otra prueba de evaluación final constituida por 8 ítems que recoge los estándares de aprendizaje evaluables, ambos instrumentos están diseñados por los autores del estudio.

Concluida la prueba final, el grupo experimental realizó un cuestionario de escala Likert de 10 ítems con 6 opciones de respuesta para identificar la factibilidad, motivación y percepción de los estudiantes sobre la experiencia, evaluando de esta forma el entorno de aprendizaje enriquecido con RA. El cuestionario se centró principalmente en determinar los siguientes puntos:

- i. El uso de tecnología en RA en el proceso de enseñanza-aprendizaje.
- ii. La contribución de herramientas en RA para una mejor visualización de los contenidos.
- iii. La repercusión de la tecnología en RA en el grado de motivación.
- iv. La dificultad de uso de la aplicación Geogebra AR.

Por último, se estableció la fiabilidad de los instrumentos de evaluación diseñados por los autores de la investigación (prueba escrita y cuestionario Likert) mediante el coeficiente de consistencia interna α de Cronbach, considerado por varios investigadores uno de los métodos estadísticos más apropiados para obtener valores de calidad (García et al., 2004; O'Dwyer y Bernauer, 2013; Cabero et al., 2017). En la tabla 3.13 se muestra que los índices de fiabilidad de consistencia interna se ajustan a un nivel alto para cada una de las escalas que constituyen los instrumentos de evaluación elaborados.

Tabla 3.13. Coeficiente de fiabilidad de consistencia interna para las pruebas diseñadas.

Dimensión	α de Cronbach
Estándares de aprendizaje evaluables	0.893
RA como herramienta de enseñanza-aprendizaje	0.762
RA como herramienta de visualización espacial	0.838
Motivación y estimulación del aprendizaje a través de RA	0.921
Dificultad de uso de la aplicación	0.874

Una vez recopilados los datos del test PSVT: R y de la prueba escrita individual, se analizaron utilizando descriptivos y estadística inferencial. La estadística descriptiva la compone la media obtenida en de los resultados del pretest y el postest, la desviación estándar, el rango, etc. Por otro lado, para la estadística inferencial se empleó una prueba t de student o t-test con un nivel de confianza del 5% utilizando una prueba bilateral para, de este modo, probar la hipótesis del estudio.

Experiencia de aprendizaje

En mayo del 2019 se realizó la experiencia en el aula con estudiantes de Matemáticas Académicas de 4º curso de ESO, distribuida en doce sesiones lectivas dentro de un periodo de tres semanas de duración. El objetivo de este ensayo, fue determinar el alcance y las limitaciones al integrar el dispositivo móvil en el aula junto a la aplicación Geogebra AR (Figura 3.12), como apoyo para el análisis y estudio de las funciones matemáticas, además de comprobar su impacto en la inteligencia espacial del alumnado.

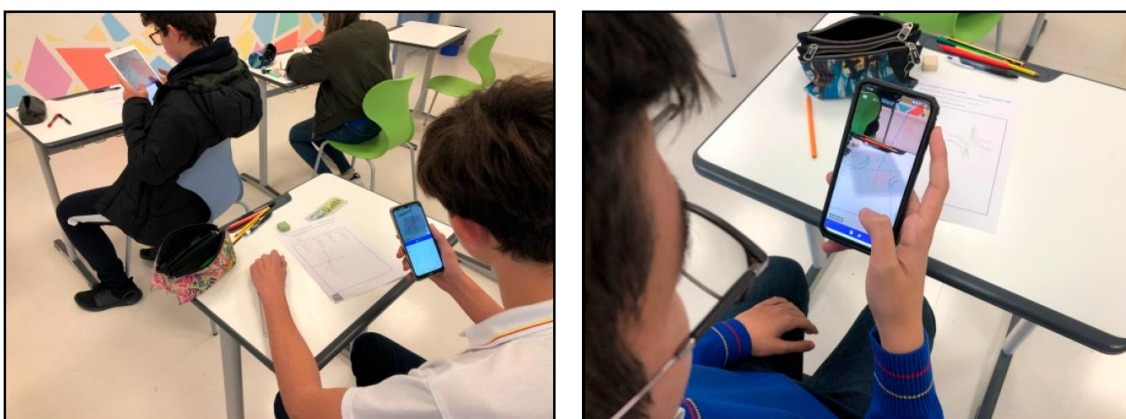


Figura 3.12. Estudiantes trabajando en el aula durante el desarrollo de la experiencia.

Los estándares de aprendizaje evaluables dentro del bloque de contenidos de funciones del currículo de la asignatura de Matemáticas Académicas en 4º de ESO establecido por el Real Decreto 1105/2014, indica explícitamente que los estudiantes deben explicar y representar gráficamente el modelo de relación entre dos magnitudes para los casos de relación lineal, cuadrática, proporcionalidad inversa, exponencial y logarítmica, empleando medios tecnológicos, si es preciso. Esto lo hace lo suficientemente flexible como para permitir la introducción de otros métodos de enseñanza como los enfoques basados en nuevas tecnologías, en nuestro caso Geogebra AR, que facilita la exploración, la representación y el análisis de funciones entre otras cosas. Por lo tanto, integrando Geogebra AR como apoyo a la enseñanza-aprendizaje de funciones, los estudiantes pueden explorar y desarrollar esquemas cognitivos que les permitan no solo trazar gráficos de funciones, sino también potenciar el autoaprendizaje proactivo alcanzando una progresión en los desarrollos de análisis, aplicación, reflexión e interpretación del conocimiento.

Material Generado

Para llevar a cabo la experiencia en el aula, se generaron fichas de trabajo que integran el dispositivo móvil como plataforma de acceso al aprendizaje en el aula a través de la aplicación Geogebra AR para resolver las actividades propuestas. En relación a lo indicado, hay que tener presente que el docente no tiene necesariamente que seguir el libro de texto, si no que puede generar su propio material de trabajo, en este caso fichas vinculadas a objetos en RA. Para ello, el profesorado debe disponer de conocimientos suficientes, en este sentido, algunos autores diseñan sus propias fichas de actividades o materiales de trabajo REA en lo que llaman “producción de materiales aumentados” que generalmente es sistemática y secuencial, adaptándose al ritmo de aprendizaje y necesidades de cada usuario (del Cerro y Morales, 2017).

La colección de contenidos generada trata aspectos como la representación, el estudio y el análisis de funciones de tipo: constante, afín, lineal, cuadrática, de valor absoluto, de proporcionalidad inversa, exponencial, logarítmica y trigonométrica. Dichos materiales se utilizaron en formato papel (figura 3.13; Apéndice D), para que los estudiantes pudieran resolver las actividades de forma escrita a la vez que superponían en la ficha de trabajo las representaciones gráficas en RA generadas por Geogebra AR. A pie de página de cada ficha se encuentra ubicado un código QR que da acceso a la descarga de la aplicación.

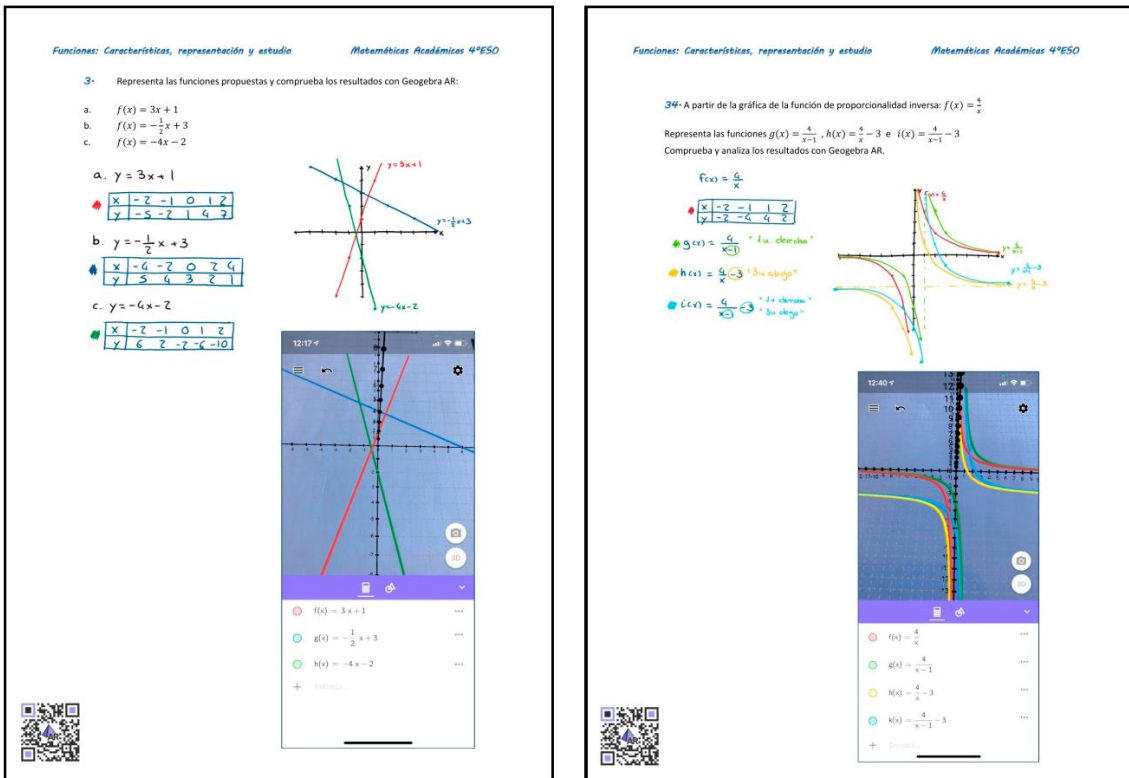


Figura 3.13. Fichas de trabajo con contenido en RA, con código QR de acceso a la aplicación Geogebra AR.

De esta forma los estudiantes interactúan de forma directa con el objeto de estudio con total libertad de exploración espacial, girando o rotando las representaciones para visualizar la función con total detalle y desde cualquier perspectiva. Cabe resaltar, que las actividades que forman parte de la colección de ejercicios, no distan de un marco metodológico de enseñanza tradicional de las funciones matemáticas, lo cual supone una gran facilidad a la hora de integrar herramientas tecnológicas en RA como Geogebra AR.

Pese a que los estudiantes nunca antes habían utilizado software matemático interactivo en RA como herramienta de enseñanza, la curva de aprendizaje poco pronunciada de Geogebra AR nos permitió diseñar una experiencia en el aula con un formato basado en el aprendizaje por descubrimiento. Por ello, en lugar de dedicar sesiones lectivas a explicar el funcionamiento, las herramientas o los elementos de la interfaz del programa, se estableció una rutina en el aula basada en breves instrucciones y en la realización de actividades dirigidas a través del aprendizaje proactivo y tangible que han hecho que los estudiantes fueran poco a poco dominando el software conforme a lo demandado en cada actividad, a sus necesidades e indagación. Al igual que en el desarrollo de cualquier otra unidad formativa, a los estudiantes se le asignaban tareas para que las realizaran fuera

del horario lectivo, el uso del binomio RA- dispositivos móviles nos permite que el estudiante pueda acceder a la información independientemente de donde se encuentre, combinando de esta forma el trabajo presencial con el trabajo en línea, esto da como resultado un modelo educativo más cercano a las necesidades de las nuevas generaciones conocido como b-learning (Hinojo et al., 2020). Esto tiene un mayor valor en la actualidad, debido al cambio de paradigma del sistema educativo en tiempos de Covid-19 y al papel protagonista e imprescindible que han tomado las tecnologías, nos encontramos ante un escenario en el que se debe ayudar a reforzar el autoaprendizaje y la autonomía en los estudiantes, además de conseguir motivarles para ayudar a captar su interés y potenciar sus ganas de investigar (Moreno et al., 2020).

3.2.2.4. Análisis de los resultados

Durante la realización de la experiencia se observó en el grupo experimental que, primero, los estudiantes aprendieron rápidamente a generar funciones gráficas a través de la aplicación como alternativa al sistema de representación tradicional. Segundo, los estudiantes aprendieron a visualizar y analizar soluciones gráficas como alternativa a las soluciones algebraicas. Tercero, el alumnado pasó de concebir un gráfico como una colección de puntos aislados a pensar en un gráfico como una entidad, lo cual ocasionó que los estudiantes comenzaran a realizar estudios y análisis completos del comportamiento de las funciones. Cuarto, los estudiantes comprendieron la conceptualización de una función y comprendieron la relación que tienen las variables sobre ellas. Quinto, se detectó que los estudiantes experimentaban de forma libre y autónoma con la aplicación Geogebra AR y aportaban al resto del grupo su percepción sobre las operaciones realizadas, es de destacar, que estas interpretaciones eran propias de alumnos de niveles de enseñanza superior al que se encontraban.

Por último, uno de los hallazgos que se observó en el grupo experimental, es que los estudiantes relacionaron las diferentes soluciones entre los sistemas de ecuaciones a través de sus representaciones gráficas. Lo que nos demuestra que los estudiantes son capaces de visualizar e identificar un punto o una recta de intersección en un gráfico como una solución a un sistema de ecuaciones (figura 3.14).

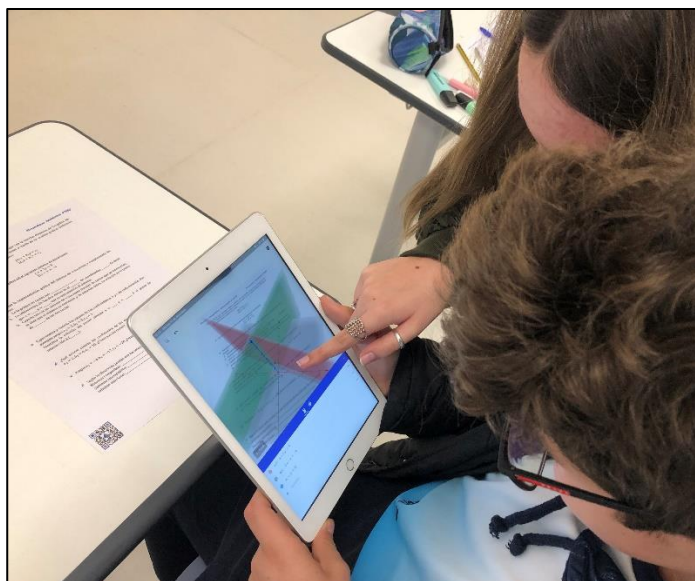


Figura 3.14. Estudiantes en el aula trabajando la intersección gráfica a través de Geogebra AR

Análisis de la variación en la enseñanza-aprendizaje de funciones matemáticas

Los resultados estadísticos descriptivos de la prueba de evaluación inicial de conocimientos dentro del bloque de contenidos de funciones tanto para el grupo experimental como para el grupo de control se muestran en la tabla 3.14.

Tabla 3.14. Estadística descriptiva de los resultados obtenidos en la prueba de evaluación inicial

Evaluación Inicial	N	Máximo	Mínimo	Mediana	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Experimental	23	8.7	2.3	5.8	5.7478	1.52729	0.31846
Control	25	8.6	2.5	6.1	6.0921	1.58559	0.31712

El grupo experimental con 23 participantes obtuvo una puntuación media en la prueba de evaluación inicial de 5.7478, mientras que el grupo de control obtuvo una puntuación media de 6.0921. Se realizó un t-test para muestras independientes con el objetivo de determinar si existía una diferencia significativa entre la puntuación media de los dos grupos en la prueba de evaluación inicial con un nivel de confianza del 5%, estos resultados se muestran en la tabla 3.15.

Tabla 3.15. T-test de los resultados obtenidos en la prueba de evaluación inicial

Evaluación Inicial	Prueba Levene a igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medidas						
	F	Sig.	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior
Se asumen varianzas iguales	0.054	0.818	-0.765	46	0.448	-.34417	0.45014	-1.2503	0.5619
No se asumen varianzas iguales			-0.766	45.895	0.448	-.34417	0.44942	-1.2489	0.5605

Para los resultados de la tabla 3.15, la prueba Levene tiene un valor de 0.818, que es mayor de 0.05, por ende, se supone que las variaciones de grupo son iguales. El valor de la prueba de bilateralidad para el grupo experimental y de control es de 0.448 para ambos casos, lo que implica que la diferencia en las medidas no es estadísticamente significativa a una probabilidad de 0.05. Los resultados muestran que no existe una diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) entre el valor promedio de los dos grupos en función de los resultados de la prueba de evaluación inicial. Esto, estadísticamente indica que los estudiantes de ambos grupos tenían niveles de rendimiento similares al inicio de la investigación. Por lo tanto, cualquier diferencia de rendimiento observada a posteriori puede atribuirse al uso de la aplicación Geogebra AR.

La tabla 3.16 compara la estadística descriptiva de ambos grupos de acuerdo a los resultados obtenidos por los estudiantes en la prueba de evaluación final que recoge los estándares de aprendizaje evaluables. El grupo experimental obtuvo una puntuación media en la prueba final de 7.3391, una desviación típica de 1.61125 y un error promedio de 0.33597. En cambio, la media del grupo de control fue de 6.0841, la desviación típica 1.52334 y el error promedio de 0.30467. La puntuación media obtenida en la prueba de evaluación final por los estudiantes del grupo experimental fue significativamente más alta que la del grupo de control.

Tabla 3.16. Estadística descriptiva de los resultados obtenidos en la prueba de evaluación final

Prueba Escrita Final	N	Máximo	Mínimo	Mediana	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Experimental	23	9.6	4.6	7.1	7.3391	1.61125	0.33597
Control	25	8.7	3.2	6.1	6.0841	1.52334	0.30467

Los resultados obtenidos de la prueba t-test para muestras independientes se recogen en la tabla 3.17. El estadístico de la prueba Levene es de 0.034, que es menor que 0.05, por lo tanto, no se supone que las variaciones de grupo sean iguales con lo que respecta a los resultados obtenidos en la prueba de evaluación final de conocimientos. El valor de bilateralidad es inferior a 0.05, lo que implica que la diferencia en las medias es estadísticamente significativa a un nivel de 0.05. Estos resultados indican que los estudiantes del grupo experimental lograron puntuaciones más altas que los estudiantes del grupo de control, por lo tanto, según los resultados de la prueba t-test, podemos rechazar la hipótesis nula (no existe una diferencia estadísticamente significativa en las puntuaciones de rendimiento de los estudiantes expuestos a la aplicación Geogebra AR y aquellos que no están expuesto a ella) a favor de la hipótesis alternativa (existe una diferencia estadísticamente significativa en las puntuaciones de rendimiento de los estudiantes expuesto a la aplicación Geogebra AR y aquellos que no están expuestos a ella).

Tabla 3.17. T-test de los resultados obtenidos en la prueba de evaluación final

Prueba Escrita Final	Prueba de Levene a igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medidas						
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior
Se asumen varianzas iguales	0.412	0.034	2.774	46	0.008	1.25513	0.45246	0.34438	2.16588
No se asumen varianzas iguales			2.767	45.102	0.008	1.25513	0.45354	0.34171	2.16855

Después de analizar la existencia de relación entre los grupos, cabe preguntarse la intensidad de su relación, para ello utilizamos la media del tamaño de efecto

en ANOVA. Los resultados de esta prueba se muestran en la tabla 3.18, donde se puede observar que el 20.4% de la variación en la enseñanza-aprendizaje de funciones de los estudiantes se puede atribuir al uso de la aplicación Geogebra AR.

Tabla 3.18. Medidas de asociación entre grupos

	Eta	Eta al cuadrado
Experimental o Control *Puntuación	0.452	0.204

Análisis de la variación de las habilidades de visualización y rotación espacial

De la misma forma se procedió a realizar el análisis mediante estadística descriptiva y la prueba t-test del pretest y postest PSVT: R para averiguar la existencia de diferencias significativas. De esta forma se evaluó el impacto de la aplicación Geogebra AR para mejorar la capacidad de visualización y rotación espacial de los estudiantes.

El análisis estadístico descriptivo del pretest basado en el modelo PSVT: R para el grupo experimental y de control se muestran en la tabla 3.19. Los participantes del grupo experimental y de control obtuvieron una puntuación media de 4.9643 y 5.3332 respectivamente.

Tabla 3.19. Resultados estadísticos descriptivos pretest PSVT: R

Pretest PSVT: R	N	Máximo	Mínimo	Mediana	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Experimental	23	7.5	2.5	5	4.9643	1.40999	0.29400
Control	25	8.33	2.5	5.83	5.3332	1.73455	0.34691

Se realizó una prueba t-test para muestras independientes con el objetivo de determinar si existía una diferencia significativa entre la puntuación media de los dos grupos del pretest basado en el modelo PSVT: R con un nivel de confianza del 5%, los resultados se muestran en la tabla 3.20. La prueba Levene tiene un valor de 0.137, al ser mayor de 0.05, conlleva que las variaciones de grupo son iguales. El resultado de la prueba de bilateralidad es de 0.425 para varianzas iguales y de 0.422 para varianzas distintas, por lo que la diferencia en las medias no estadísticamente significativas con una probabilidad de 0.05. Al igual que los resultados del t-test realizado con las puntuaciones de la prueba de evaluación inicial, se detecta que los grupos tenían un nivel similar de inteligencia espacial

al inicio de la investigación. En este caso, cualquier diferencia que se detecte posteriormente en cuanto a la mejora de las habilidades de visualización y rotación espacial de los estudiantes, puede atribuirse a la integración de la aplicación Geogebra AR en la metodología del aula.

Tabla 3.20. T-test de los resultados obtenidos en la prueba pretest PSVT: R

Pretest PSVT: R	Prueba de Levene a igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medidas						
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior
Se asumen varianzas iguales	2.291	0.137	-0.804	46	0.425	-0.36885	0.45871	-1.29218	0.55448
No se asumen varianzas iguales			-0.811	45.341	0.422	-0.36885	0.45474	-1.28455	0.54684

La tabla 3.21 muestra los resultados del análisis estadístico descriptivo de acuerdo a las puntuaciones obtenidas en el postest PSVT: R para los dos grupos. El grupo experimental obtuvo una puntuación media en el postest de 7.0652, una desviación típica de 1.60574 y un error promedio de 0.33482. Por otro lado, la media del grupo de control fue de 5.6664, la desviación típica de 1.73463 y el error promedio de 0.34693. Resaltar que la puntuación media obtenida por el grupo experimental en la prueba postest PSVT: R es significativamente mayor que la del grupo de control.

Tabla 3.21. Resultados estadísticos descriptivos postest PSVT: R

Postest PSVT: R	N	Máximo	Mínimo	Mediana	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Experimental	23	9.17	4.17	7.5	7.0652	1.60574	0.33482
Control	25	8.33	2.5	5.83	5.6664	1.73463	0.34693

Los resultados obtenidos de la prueba t-test para muestras independientes en relación a las puntuaciones obtenidas de los dos grupos en el postest PSVT: R se recogen en la tabla 3.22. El valor de la prueba Levene es de 0.029, que es menor que 0.05, por lo que se detecta que las variaciones de grupo no son iguales. La prueba bilateral tiene un valor inferior a 0.05, lo que implica que la diferencia en

las medias es estadísticamente significativa a una probabilidad de 0.05. Al igual que los resultados obtenidos en el t-test en relación a las puntuaciones obtenidas en la prueba escrita final, los estudiantes del grupo experimental alcanzaron puntuaciones más altas en la prueba PSVT:R que los estudiantes del grupo de control, por consiguiente, conforme los resultados del t-test, rechazamos la hipótesis nula (no existe una diferencia estadísticamente significativa en el nivel de inteligencia espacial de los estudiantes expuestos a la aplicación Geogebra AR y aquellos que no están expuesto a ella) a favor de la hipótesis alternativa (existe una diferencia estadísticamente significativa en el nivel de inteligencia espacial de los estudiantes expuesto a la aplicación Geogebra AR y aquellos que no están expuestos a ella) con respecto a la mejora de las habilidades de visualización y rotación espacial de los estudiantes.

Tabla 3.22. T-test de los resultados obtenidos en la prueba postest PSVT: R

Postest PSVT: R	Prueba de Levene a igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medidas						
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior
Se asumen varianzas iguales	0.101	0.029	2.892	46	0.006	1.39882	0.48371	0.42513	2.37251
No se asumen varianzas iguales			2.901	45.997	0.006	1.39882	0.48214	0.42831	2.36932

Además, la tabla 3.23 muestra el impacto de la aplicación Geogebra AR en las puntuaciones obtenidas, donde se puede observar que el 21.3% de la mejora de las habilidades de visualización y rotación espacial se pueden atribuir a la integración de la aplicación Geogebra AR en la metodología del aula.

Tabla 3.23. Medidas de asociación entre grupos para PSVT: R

PSVT: R	Eta	Eta al cuadrado
Experimental o Control *Puntuación	.462	.213

Análisis descriptivo del cuestionario de evaluación

Por último, en la tabla 3.24 se presentan los resultados obtenidos en relación con los datos obtenidos del cuestionario de escala Likert para determinar la motivación, la factibilidad y la percepción de los estudiantes en relación a la experiencia realizada con tecnología de RA. El 52.17% de los estudiantes estaban de acuerdo con utilizar recursos en RA para el aprendizaje de contenidos, el 65.21% creen que las herramientas en RA han ayudado a mejorar sus habilidades de visualización y rotación espacial. Es de resaltar que prácticamente todos los estudiantes manifiestan haber trabajado con gran motivación e interés, y la gran mayoría de ellos ratifica la facilidad de uso de la aplicación Geogebra AR.

Tabla 3.24. Análisis descriptivo de los resultados de la aplicación del cuestionario

Ítems	En desacuerdo (%)		Indiferente (%)		De acuerdo (%)	
	1	2	3	4	5	6
RA como herramienta e-a		4.36	13.04	30.43	34.78	17.39
RA como herramienta de visualización espacial		4.36	8.69	21.74	34.78	30.43
Motivación del aprendizaje a través de RA			4.36	8.69	52.17	34.78
Facilidad de uso			8.69	21.74	39.14	30.43

3.2.2.5. Discusión

Los resultados de la prueba de evaluación final y el postest indican que existe una diferencia estadísticamente significativa en el nivel de logro alcanzado por los estudiantes del grupo experimental en comparación con los del grupo de control. A partir de los hallazgos del estudio, es evidente que los estudiantes que estuvieron expuestos a una metodología de aprendizaje con Geogebra AR (grupo experimental) obtuvieron mejores resultados tanto en el nivel de aprendizaje alcanzado en la unidad formativa funciones como en sus habilidades de visualización y rotación espacial, en comparación con aquellos estudiantes que no estuvieron expuesto al aprendizaje apoyado en herramientas de RA (grupo de control). Por lo tanto, este hallazgo sugiere que el uso de la aplicación Geogebra AR como apoyo en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las funciones matemáticas mejoró el rendimiento académico y la inteligencia espacial del alumnado. Este hallazgo está relacionado con los hallazgos de Kaufmann y Schmalstieg (2002) y del Cerro y Morales (2017) sobre la efectividad de herramientas en RA en los procesos de enseñanza-aprendizaje en áreas de

conocimiento STEM y, especialmente, en todas las asignaturas donde la inteligencia espacial es fundamental para el desarrollo del aprendizaje. Además, los resultados de este estudio coincidieron con los obtenidos por Hohanwarter (2006), que a través del uso de software gráfico mejoró el rendimiento del alumnado en el estudio de funciones. Asimismo, los hallazgos también coinciden con investigaciones anteriores donde se utilizó el programa informático Geogebra en su versión para ordenadores personales con el objetivo de mejorar los resultados de aprendizaje en la asignatura de matemáticas (Hohwnwater y Fuchs, 2004; Aydos, 2015; Carvalho, et al., 2019).

Los estudiantes del grupo experimental estuvieron expuestos a una tecnología educativa aun no asentada, que muy probablemente captó su atención e interés durante las lecciones en la que se incorporó a la metodología del aula. La naturaleza interactiva y dinámica de Geogebra AR permitió a los estudiantes del grupo experimental representar, visualizar, rotar, analizar y comparar los gráficos de las funciones matemáticas con facilidad. Esto permitió al alumnado comprender mejor el concepto de función, identificando un mayor número de características de la misma en relación a su forma que el grupo de control. Además, la integración de esta tecnología consiguió potenciar el aprendizaje proactivo del alumnado, así como despertó su indagación y necesidad de saber más. Los estudiantes del grupo experimental tenían la posibilidad de verificar y evaluar la corrección y precisión de los resultados de sus ejercicios de forma autónoma a través de Geogebra AR. Igualmente, el grupo experimental a través de la aplicación Geogebra AR, podía dibujar y analizar varios gráficos al mismo tiempo sin tener que realizar cálculos algebraicos, tabla de valores o trazar a mano cada uno de ellos, esto hizo que generalmente completaran las actividades propuestas en clase en un tiempo inferior que el grupo de control, factor que puede haber contribuido a la profundización de contenidos y a una mayor puntuación en la prueba escrita final que la obtenida por el grupo de control.

Por todo lo anterior, se recomienda que los docentes integren herramientas como Geogebra AR como apoyo en la resolución de actividades de enseñanza de funciones matemáticas, ya que ha demostrado ser eficaz para la mejora del aprendizaje, al disminuir el esfuerzo de los estudiantes en la tediosa tarea de dibujar funciones de forma manual, lo cual les permitió centrarse en otros elementos más relevantes, como la exploración y el análisis de las mismas. Antes del estudio, descubrimos que no muchos estudiantes de ESO podían manipular

y utilizar software matemático de forma efectiva debido a su falta de formación, pero no fue así con Geogebra AR, donde la mayoría de los estudiantes destacaba en su manejo intuitivo y sencillo, obteniendo grandes resultados.

La integración de herramientas tangibles como Geogebra AR en el aula, cambia el rol del docente, reubicándolo como un guía permanente que otorga a los estudiantes más libertad y autonomía, fomentando el pensamiento crítico y creativo, en lugar de limitarse únicamente a ser un trasmisor de conocimientos.

Podemos decir que el proceso de integración de Geogebra AR en la metodología del aula ha sido sencillo y satisfactorio. Pero hay que tener en cuenta, que los educadores deben estar bien formados en el uso y la integración de TIC como los dispositivos móviles (Rodríguez et al., 2019), y la RA en los procesos de enseñanza-aprendizaje, en este sentido, si se aplican de una forma adecuada, siempre de la mano de una metodología contextualizada, puede ser muy útil no sólo para facilitar los procesos de enseñanza-aprendizaje, si no para hacerlos más interactivos, motivadores e interesantes (del Cerro y Morales, 2018).

3.2.2.6. Conclusiones Específicas

Con esta contribución se buscó explícitamente transformar los procesos de enseñanza- aprendizaje de las matemáticas, con el propósito de promover las destrezas matemáticas vinculadas con la inteligencia espacial, en lugar de centrarse únicamente en aprender un contenido matemático específico. En este sentido, la integración de Geogebra AR a través de una metodología contextualizada en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las funciones matemáticas, supuso una diferencia significativa en los niveles de logro académico y de inteligencia espacial del alumnado que se expuso a ella. Los resultados también mostraron que los estudiantes tenían una perspectiva positiva sobre el uso de la aplicación que logró captar su atención y aumentar su motivación desde el primer momento.

La tecnología de RA ha llegado a transformar el ideal de lo que hasta ahora no era posible aplicar en la asignatura de matemáticas, permitiendo realizar experiencias de aprendizaje eficientes y efectivas en el aula, que deben ir acompañadas de los recursos y métodos apropiados para que se profundice y se estimule las habilidades de los estudiantes. El estudio evaluó el logro académico y cognitivo de los estudiantes a través de las calificaciones obtenidas en cada una

de las pruebas, y abordó otros factores, como la motivación, que influyó en que los alumnos obtengan este rendimiento. Por ello, podemos afirmar, que el valor de cualquier tecnología que se integre en el aula depende en gran parte de la involucración de los estudiantes.

Por último, Geogebra AR ha demostrado ser una herramienta efectiva en la enseñanza de funciones matemáticas y en la mejora de la inteligencia espacial de los alumnos, por lo que recomendamos que los docentes integren este software en el desarrollo de actividades de aprendizaje, que además se puede adaptar para el desarrollo de otros conceptos, con otros planes de estudios en diferentes niveles de enseñanza. Por lo tanto, su relevancia en el campo de las matemáticas abarca un gran abanico de aplicaciones.

3.3. Conclusiones de la investigación

Esta sección recoge las conclusiones que dan respuesta a los objetivos de la presente tesis, centrados en el impacto de la RA en la inteligencia espacial de los estudiantes en el aprendizaje de contenidos con alta carga visual en áreas de conocimiento STEM. Todo ello se realiza a partir de los resultados de carácter descriptivo obtenidos en la revisión sistemática de la literatura y en cada una de las experiencias educativas realizadas. Por tanto, respondiendo a los objetivos de la investigación se puede concluir:

Dando respuesta al primer objetivo “Comparar la RA como herramienta de aprendizaje frente a otros materiales considerados como tradicionales, como las fichas de texto impresas con imágenes”:

Al comparar las metodologías que emplean tecnología de RA con otros tipos de herramientas pedagógicas tradicionales, en el aprendizaje de materias STEM con gran parte de los contenidos de carácter visoespacial, los hallazgos indican que las ganancias de aprendizaje son mayores cuando en las intervenciones se emplean recursos de RA, pero para ello, se debe garantizar una buena usabilidad al diseñar entornos de aprendizaje basados en RA. Asimismo, la tecnología de RA ha llegado a transformar el ideal de lo que hasta ahora no era posible aplicar en las asignaturas STEM, permitiendo realizar experiencias de aprendizaje eficientes y efectivas en el aula, que deben ir acompañadas de los recursos y métodos apropiados para que se profundice y se estimule las habilidades de los estudiantes. Además, posibilita reemplazar los recursos físicos por objetos virtuales, lo que permite entender que sus posibles aplicaciones seguirán creciendo a medida que la tecnología proporcione mayores oportunidades de aprendizaje y diseño de materiales (del Cerro y Morales, 2018; del Cerro y Morales, 2021a; del Cerro y Morales 2021b).

En concreto, la RA a través de dispositivos móviles presenta una serie de ventajas pedagógicas a la que se suman otras operativas, como que se trata de una herramienta de la que disponen prácticamente todos los estudiantes a partir de educación secundaria, se han posicionado como la primera herramienta de acceso a la información a nivel mundial, y ofrece enormes posibilidades de interacción en los ambientes de aprendizaje; son flexibles, de tamaño reducido, de fácil uso y su coste puede ser en algunos casos bajo (Rivera Alvarado et al.,

2018). Por todo ello, se puede afirmar que el binomio RA-dispositivos móviles está siendo de gran apoyo en el proceso de inclusión de la tecnología de RA en la educación, así como en la formación permanente y en múltiples contextos, en lo que hoy se denomina ecologías del aprendizaje. Además, la competencia tecnológica y comercial del sector de los dispositivos móviles favorece, en gran parte, los avances tecnológicos de la RA.

Dadas las respuestas generalmente motivadoras y positivas de los estudiantes al uso de la RA como herramienta de aprendizaje, por su interfaz, navegación, usabilidad, rendimiento y potencial, está claro que esta tecnología se percibe como una herramienta valiosa, efectiva y satisfactoria para aprender sobre modelos espaciales que incluyen objetos altamente complejos asociados con los contenidos STEM. Por ello, podemos afirmar, que el valor de cualquier tecnología que se integre en el aula depende en gran parte de la involucración de los estudiantes (del Cerro y Morales, 2018; del Cerro y Morales, 2021a).

Respondiendo al segundo objetivo “Determinar si la RA puede disminuir la carga cognitiva de los estudiantes en áreas de conocimiento STEM”:

Desde la perspectiva de la TCC, la RA tiene el potencial de reducir la carga cognitiva extrínseca al representar información visual 3D de una manera que promueve el uso de las habilidades espaciales. Las representaciones bidimensionales de contenidos STEM proporcionan la información necesaria para construir información tridimensional, pero requieren un mayor esfuerzo mental (Wickens et al., 2021). Incorporar materiales aumentados REA en los contenidos STEM con alta carga visual, puede reducir la carga cognitiva extrínseca, lo que a su vez disminuye la carga de la memoria de trabajo y la dificultad de comprensión, esto reduce la carga cognitiva intrínseca y permite a los estudiantes canalizar los recursos adicionales de la memoria de trabajo al aprendizaje, aminorando la carga cognitiva relacionada. La presente investigación deduce que los REA en RA pueden reducir la carga cognitiva general al eliminar la necesidad de construir y manipular objetos mentalmente. Esta construcción y manipulación mental es común cuando los estudiantes interactúan con otros materiales de aprendizaje tradicionales, como apuntes, libros de texto o vídeos explicativos. Uno de los beneficios de la carga cognitiva reducida es un mejor aprendizaje, son varios autores (Chandler y Sweller, 1991; Van Merriënboer et al., 2002; Tabbers et al., 2004) los que indican que los

materiales o recursos de aprendizaje mal diseñados pueden aumentar la carga cognitiva y dificultar el aprendizaje, por lo que es fundamental que los REA en RA estén correctamente diseñados y contextualizados para así mejorar los logros en el aprendizaje de los estudiantes.

Además, los grupos experimentales obtuvieron una carga cognitiva más baja en comparación con los grupos de control, por lo que los hallazgos revelan que existe una correlación positiva entre la inteligencia espacial y las ganancias de aprendizaje, así como una disminución de la carga cognitiva (del Cerro y Morales, 2018; del Cerro y Morales, 2021a; del Cerro y Morales 2021b). Igualmente se evidencia y se corresponde con los resultados alcanzados por la mayoría de autores en la revisión sistemática de la literatura (Dünser et al., 2006; Chen et al., 2011; Contero et al., 2012; Camba et al., 2014; Liao et al., 2015; Lin et al., 2015; Quintero et al., 2015; Rohendi et al., 2018; Bogomolova et al., 2020; Gómez-Tone et al., 2020) que la inclusión de la RA en entornos educativos mejora las habilidades espaciales y los logros de aprendizaje de los estudiantes en áreas de conocimiento STEM. La usabilidad de la RA ha demostrado ser un factor clave en la carga cognitiva externa y está estrechamente relacionada con ella. Los resultados sugieren que, especialmente para conceptos complejos y abstractos, el uso de RA se vuelve especialmente eficaz.

Por último, en respuesta al tercer objetivo “Valorar si la RA puede mejorar las habilidades de visualización espacial de los estudiantes durante el aprendizaje de contenidos STEM”:

La tecnología de RA, acompañada de una metodología adecuada, tiene un efecto positivo en el desarrollo de la inteligencia espacial y, consecuentemente, en el aprendizaje de los estudiantes de materias STEM, siendo más beneficiosa en los estudiantes que partían con un nivel de habilidades visuoespaciales bajo (del Cerro y Morales, 2021b). Esto sugiere, que la incorporación de la RA como herramienta de aprendizaje ayuda a los estudiantes con una inteligencia espacial baja a comprender conceptos abstractos de una forma más rápida y eficiente, ya que la RA puede reducir el procesamiento de información espacial, disminuyendo así la carga en la memoria de trabajo. No obstante, es importante tener en cuenta que las habilidades espaciales poco desarrolladas actúan como una barrera para el éxito en el aprendizaje de materias STEM (Gómez-Tone et al., 2020), por lo que la incorporación temprana de RA en estos contenidos facilitará

el aprendizaje a lo largo de los cursos académicos en estas áreas.

3.4. Prospectiva de la Investigación

En la última década, la RA ha recibido una gran atención por parte de investigadores de diferentes áreas y niveles educativos. Este estudio solo ha considerado unas áreas concretas de conocimiento, pero claramente, el potencial de esta tecnología puede ser muy beneficioso en otras áreas o disciplinas de aprendizaje, sin embargo, son muy pocos los estudios que dejan patente con evidencias claras sobre la efectividad del uso de la RA en la inteligencia espacial.

Los hallazgos pueden actuar como punto de partida para futuras investigaciones. Por ejemplo, se puede realizar estudios para analizar el impacto de la integración de materiales aumentados a través de dispositivos móviles como parte del aprendizaje de asignaturas STEM en distintas situaciones y contextos dentro y fuera del aula (b-learning). Esto incluye integrar nuestro estudio al contexto educativo actual para estimular de manera efectiva el autoaprendizaje, mejorar los niveles de atención y motivar a los estudiantes a través del cambio de paradigma provocado por la pandemia Covid-19.

Los modelos estándar utilizados para medir las habilidades espaciales no son suficientes para medir la inteligencia espacial de los individuos en entornos hápticos como los generados por la RA, por lo que deben desarrollarse nuevos instrumentos de medición. Los modelos estándar de medición de las habilidades espaciales utilizados en este estudio se basaron en imágenes o figuras bidimensionales que permitieron a los estudiantes rotar los objetos mentalmente en la dirección solicitada para responder las preguntas. Sin embargo, en un ambiente háptico, el sujeto es guiado físicamente a través del movimiento ideal por la interfaz háptica, lo que le da al sujeto una comprensión cinestésica de lo que se requiere (Feygin et al., 2002,).

Es crucial la integración de dispositivos móviles tanto para el estudio actual como para estudios futuros. En un entorno háptico como RA, las manos son parte del compromiso perceptual con el entorno, porque las experiencias hápticas están mediadas a través de la cinestesia y la propiocepción a través de las cuales se

experimenta la información de los estímulos entrantes. Este es un factor importante que los docentes debemos tener en cuenta al usar la RA como herramienta de aprendizaje, ya que las metodologías de aprendizaje hápticas son diferentes de los aprendizajes meramente visuales, en el sentido de que el aprendizaje ocurre en coordenadas motoras o centradas en el cuerpo en lugar de coordenadas visuoespaciales (Feygin et al., 2002). Para crear esta experiencia, recomendamos el uso de gafas RA que proporcionarán un seguimiento posicional para ver y mover objetos virtuales como objetos físicos.

Además, también se deben realizar futuros estudios que proporcionen marcos integrales y procedimientos de diseño para la implementación de entornos en RA para diferentes prácticas, áreas y niveles educativos con el fin de proporcionar unas instrucciones de diseño que puedan servir para la elaboración materiales de aprendizaje basados en RA para la educación.

La mayoría de metodologías de investigación utilizadas en los estudios de RA están en su mayoría basadas en el diseño y la exploración, con algunas excepciones como los artículos revisados en este estudio, que emplearon un diseño de investigación cuasi-experimental. Los estudios de investigación realizados para este trabajo se basaron un método de diseño cuasi-experimental para medir los efectos de la RA en la inteligencia espacial y el aprendizaje de los estudiantes.

Por último, sería oportuno en futuros estudios, replicar este trabajo con contenidos diferentes, existe una gran variedad de conceptos en el área de conocimiento STEM que podrían adaptarse y beneficiarse de la RA. Además, se insta a realizar meta-análisis cualitativos para evaluar las percepciones de los educadores hacia el uso y la integración de las TIC emergentes, como la RA, en la enseñanza de áreas STEM.

Al no tratarse de una tecnología asentada, es importante señalar lo preocupante que es la volatilidad de las herramientas y kits de desarrollo de contenido en RA y las aplicaciones escáner, como Metaio Creator y Junaio. En este caso concreto, la startup Metaio GmbH fue adquirida por Apple Inc., al igual que muchas otras desarrolladoras que terminan siendo absorbidas por las grandes tecnológicas interrumpiendo así sus servicios o como en otros casos que directamente terminan desapareciendo.

La RA es una tecnología que aún no ha alcanzado todo su potencial, especialmente como herramienta de mejora de la inteligencia espacial en contenidos STEM. Es por ello, que, para contribuir este campo, se requiere aumentar la investigación académica que examine la interacción entre la RA, la inteligencia espacial y la carga cognitiva, así como una mayor oportunidad de formación docente en TIC emergentes y la elaboración de más materiales aumentados en forma de REA para el profesorado.

CAPÍTULO 

PUBLICACIONES QUE
COMPONEN LA TESIS
DOCTORAL

En este apartado se presenta la información de los trabajos que han constituido el compendio de la tesis doctoral. El primer artículo es un estudio cuasiexperimental sobre la RA como tecnología sostenible. El manuscrito fue publicado en 2018 en la revista *Sustainability*, Q2 y con un índice de impacto de 2.592. El siguiente artículo presenta un segundo estudio cuasiexperimental, en el que se aborda el aprendizaje de las funciones matemáticas a través de una metodología contextualizada que integra la RA. El artículo se publicó en *Mathematics* en 2021. La revista es de acceso abierto, Q1 y tiene un índice de impacto de 2.258. Finalmente, y tras la realización de las experiencias en el aula, y se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura para contrastar resultados y conclusiones. Los hallazgos fueron publicados en 2021 en la revista *Mathematics*, Q1 con un índice de impacto de 2.258.

4.1. Artículo 1

Título	Augmented Reality and Mobile Devices: A Binominal Methodological Resource for Inclusive Education (SDG 4). An Example in Secondary Education
Autores	Francisco del Cerro Velázquez y Ginés Morales Méndez
Tipo de publicación	Revista
Revista	Sustainability
Factor de Impacto (2018)	Q2 (2.592)
ISSN	2071-1050
Año	2018
Mes	Septiembre
Volúmen	10
Número	10
Resumen	<p>The rise of so-called emerging technologies is broadening the way in which students access information and in turn changing the way in which they can interact and the experiences to which they are exposed. Mobile devices are regarded as flexible tools that facilitate Access to information in different formats and in any environment. For its part, Augmented Reality is a technique that, through mobile tools, can enhance the globalization of content and Access to contextual information in various ways. Together, the globalization of mobile devices and Augmented Reality contribute to an inclusive, equitable, and quality education, as mentioned by the United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization (UNESCO) in goal four on Sustainable Development (Sustainable Development Goals 4 (SDG 4)). This article analyses the binomial Augmented Reality-mobile devices, and takes a conceptual approach to these technological environments, both the technique and the tool, in the context of quality education. To assess the potential of Augmented Reality-mobile devices as a methodological learning resource, a learning unit of Secondary Education is presented in the field of Technology, enriched with different materials related with Augmented Reality.</p>
DOI	https://doi.org/10.3390/su10103446
Estado	Publicado
Contribución	Conceptualización, software, validación, análisis formal, investigación, recursos, preparación del borrador original y visualización

4.2. Artículo 2

Título	Application in Augmented Reality for Learning Mathematical Functions: A Study for the Development of Spatial Intelligence in Secondary Education Students
Autores	Francisco del Cerro Velázquez y Ginés Morales Méndez
Tipo de publicación	Revista
Revista	Mathematics
Factor de Impacto (2021)	Q1 (2.258)
ISSN	2227-7390
Año	2021
Mes	Febrero
Volúmen	9
Número	4
Resumen	<p>Spatial intelligence is an essential skill for understanding and solving real-world problems. These visuospatial skills are fundamental in the learning of different Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) subjects, such as Technical Drawing, Physics, Robotics, etc., in order to build mental models of objects or graphic representations from algebraic expressions, two-dimensional designs, or oral descriptions. It must be taken into account that spatial intelligence is not an innate skill but a dynamic skill, which can be enhanced by interacting with real and/or virtual objects. This ability can be enhanced by applying new technologies such as augmented reality, capable of illustrating mathematical procedures through images and graphics, which help students considerably to visualize, understand, and master concepts related to mathematical functions. The aim of this study is to find out whether the integration of the Geogebra AR (Augmented Reality) within a contextualized methodological environment affects the academic performance and spatial skills of fourth year compulsory secondary education mathematics students.</p>
DOI	https://doi.org/10.3390/math9040369
Estado	Publicado
Contribución	Conceptualización, metodología, software, validación, investigación, tratamiento de datos, recursos, preparación del borrador original, redacción, revision y edición

4.3. Artículo 3

Título	Systematic Review of the Development of Spatial Intelligence through Augmented Reality in STEM Knowledge Areas
Autores	Francisco del Cerro Velázquez y Ginés Morales Méndez
Tipo de publicación	Revista
Revista	Mathematics
Factor de Impacto (2021)	Q1 (2.258)
ISSN	2227-7390
Año	2021
Mes	Noviembre
Volúmen	9
Número	23
Resumen	<p>This study presents a systematic review (SR) of the literature on the use of Augmented Reality (AR) for the development of spatial skills of secondary and higher education students in the teaching of subjects related to the area of Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM). Numerous researchers have confirmed that students tend to have difficulties in acquiring learning content with a high visual load, which is why AR is being used to improve teaching–learning processes. This paper aims to present information of interest to researchers, teachers and software developers about the advantages and limitations of AR in the development of spatial intelligence, the integration and development of AR applications, as well as the predominant spatial skills and assessment methods. In this regard, an initial search was carried out which returned 242 articles. After reviewing and assessing their eligibility, a total of 17 papers published since 2002 were selected. The findings reveal an increase in the number of investigations over the last few years. Some of the most notable findings are the improvement of spatial skills of students through the inclusion of AR in educational environments, the need for teacher training, the lack of personalization in the applications developed and the scarcity of augmented materials in the form of Open Educational Resources (OER).</p>
DOI	https://doi.org/10.3390/math9233067
Estado	Publicado
Contribución	Conceptualización, metodología, software, validación, investigación, tratamiento de datos, preparación del borrador original, redacción, revisión y edición

Journal Citation Reports

Browse journals Browse categories

gines.morales@um.es

Home > Journal profile

JCR YEAR

2018

Sustainability

Open Access since 2009

ISSN

2071-1050

EISSN

2071-1050

JCR ABBREVIATION

SUSTAINABILITY-BASEL

ISO ABBREVIATION

Sustainability

Journal information

EDITION

Social Sciences Citation Index (SSCI)

Science Citation Index Expanded (SCIE)

CATEGORY

ENVIRONMENTAL STUDIES - SSCI

GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY - SCIE

GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY - SSCI

ENVIRONMENTAL SCIENCES - SCIE

LANGUAGES

English

REGION

SWITZERLAND

1ST ELECTRONIC JCR YEAR

2013

Publisher information

PUBLISHER

MDPI

ADDRESS

ST ALBAN-ANLAGE 66, CH-4052 BASEL, SWITZERLAND

PUBLICATION FREQUENCY

12 issues/year

Journal Impact Factor

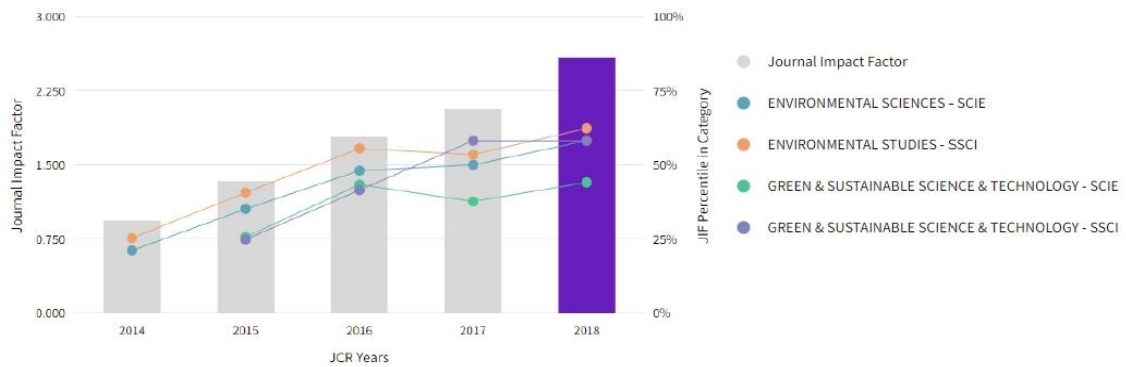
2018 JOURNAL IMPACT FACTOR

2.592

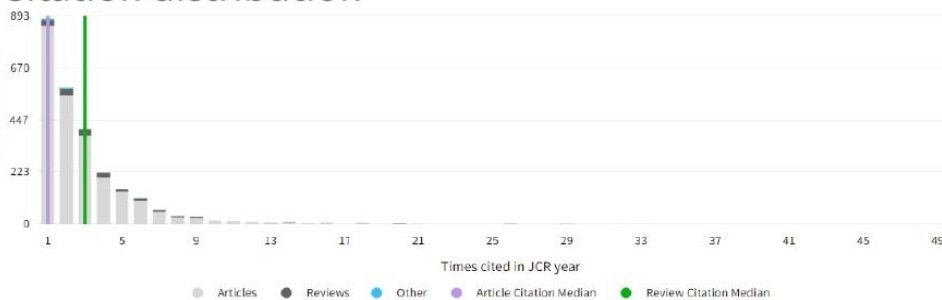
JOURNAL IMPACT FACTOR WITHOUT SELF CITATIONS

1.583

Journal Impact Factor Trend 2018



Citation distribution



ARTICLE CITATION MEDIAN

1

REVIEW CITATION MEDIAN

3

UNLINKED CITATIONS

1,855

Rank by Journal Impact factor

EDITION Science Citation Index Expanded (SCIE)				EDITION Social Sciences Citation Index (SSCI)				EDITION Social Sciences Citation Index (SSCI)				EDITION Science Citation Index Expanded (SCIE)			
CATEGORY ENVIRONMENTAL SCIENCES				CATEGORY ENVIRONMENTAL STUDIES				CATEGORY GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY				CATEGORY GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY			
105/251				44/116				3/6				20/35			
JCR YEAR	JIF RANK	QUART ILE	JIF PERCENTILE	JCR YEAR	JIF RANK	QUART ILE	JIF PERCENTILE	JCR YEAR	JIF RANK	QUART ILE	JIF PERCENTILE	JCR YEAR	JIF RANK	QUART ILE	JIF PERCENTILE
2020	124/274	Q2	54.93	2020	59/125	Q2	53.20	2020	6/9	Q3	38.89	2020	30/44	Q3	32.95
2019	120/265	Q2	54.91	2019	53/123	Q2	57.32	2019	6/8	Q3	31.25	2019	26/41	Q3	37.80
2018	105/251	Q2	58.37	2018	44/116	Q2	62.50	2018	3/6	Q2	58.33	2018	20/35	Q3	44.29
2017	121/242	Q2	50.21	2017	51/109	Q2	53.67	2017	3/6	Q2	58.33	2017	21/33	Q3	37.88
2016	119/229	Q3	48.25	2016	47/105	Q2	55.71	2016	4/6	Q3	41.67	2016	18/31	Q3	43.55
2015	146/225	Q3	35.33	2015	62/104	Q3	40.87	2015	5/6	Q4	25.00	2015	22/29	Q4	25.86
2014	176/223	Q4	21.30	2014	75/100	Q3	25.50	2014	n/a	n/a	n/a	2014	n/a	n/a	n/a
2013	154/216	Q3	28.94	2013	61/98	Q3	38.27	2013	n/a	n/a	n/a	2013	n/a	n/a	n/a

Rank by Journal Citation Indicator (JCI)

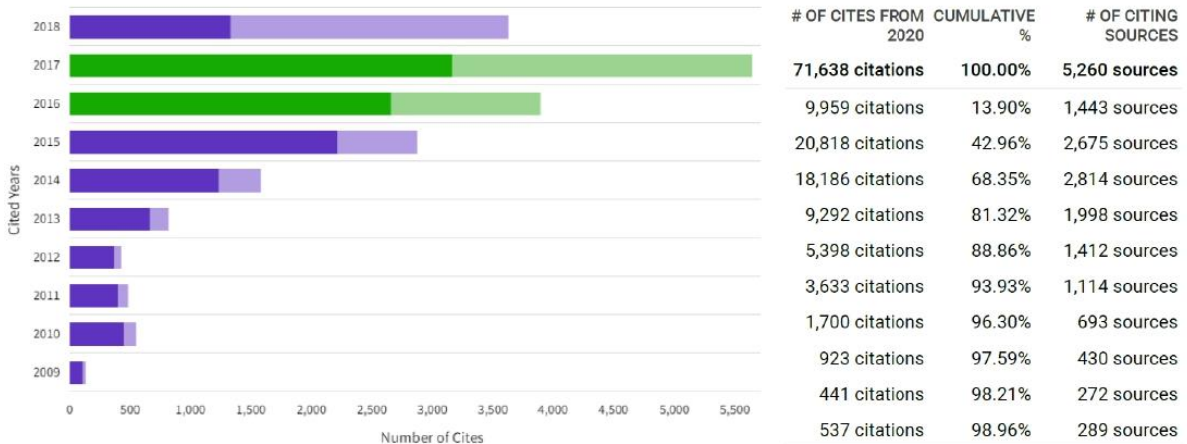
CATEGORY ENVIRONMENTAL SCIENCES				CATEGORY ENVIRONMENTAL STUDIES				CATEGORY GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY			
135/297				94/153				27/63			
JCR YEAR	JCI RANK	QUART ILE	JCI PERCENTILE	JCR YEAR	JCI RANK	QUART ILE	JCI PERCENTILE	JCR YEAR	JCI RANK	QUART ILE	JCI PERCENTILE
2020	163/306	Q3	46.90	2020	111/156	Q3	29.17	2020	38/66	Q3	43.18
2019	156/302	Q3	48.51	2019	103/156	Q3	34.29	2019	37/65	Q3	43.85
2018	135/297	Q2	54.71	2018	94/153	Q3	38.89	2018	27/63	Q2	57.94
2017	135/286	Q2	52.97	2017	86/149	Q3	42.62	2017	29/60	Q2	52.50

Cited Half-life

2.3 years

The Cited Half-Life is the median age of the citations received by a journal during the JCR year

TOTAL NUMBER OF CITES: 71,638
 NON-SELF CITATIONS: 52,433
 SELF CITATIONS: 19,205



Year	# OF CITES FROM 2020	CUMULATIVE %	# OF CITING SOURCES
2020	71,638 citations	100.00%	5,260 sources
2019	9,959 citations	13.90%	1,443 sources
2018	20,818 citations	42.96%	2,675 sources
2017	18,186 citations	68.35%	2,814 sources
2016	9,292 citations	81.32%	1,998 sources
2015	5,398 citations	88.86%	1,412 sources
2014	3,633 citations	93.93%	1,114 sources
2013	1,700 citations	96.30%	693 sources
2012	923 citations	97.59%	430 sources
2011	441 citations	98.21%	272 sources
2010	537 citations	98.96%	289 sources

- Non-self citations: citations to the journal from the items in other sources
- Citations to items in the journal from items in the same journal
- Citations used to calculate the Impact Factor

Previous years:
751 citations

Browse journals > Journal profile

JCR YEAR

2020

Mathematics

Open Access since 2013

ISSN

N/A

EISSN

2227-7390

JCR ABBREVIATION

MATHEMATICS-BASEL

ISO ABBREVIATION

Mathematics

Journal information

EDITION

Science Citation Index Expanded (SCIE)

CATEGORY

MATHEMATICS - SCIE

LANGUAGES

English

REGION

SWITZERLAND

1ST ELECTRONIC JCR YEAR

2018

Publisher information

PUBLISHER

MDPI

ADDRESS

ST ALBAN-ANLAGE 66, CH-4052 BASEL, SWITZERLAND

PUBLICATION FREQUENCY

12 issues/year

Journal Impact Factor

2020 JOURNAL IMPACT FACTOR

2.258

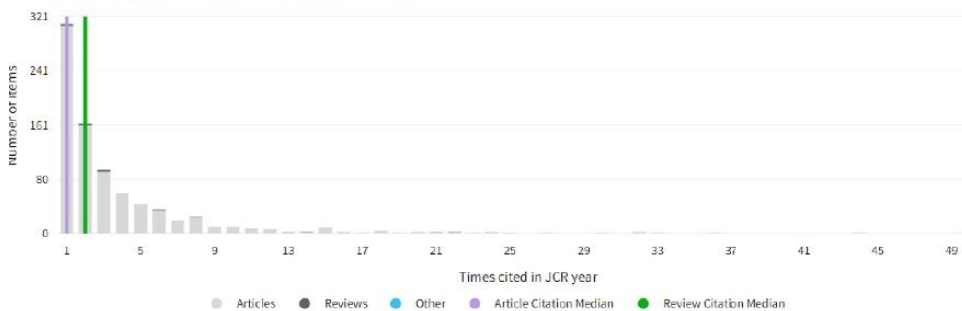
Journal Impact Factor Trend 2020

JOURNAL IMPACT FACTOR WITHOUT SELF CITATIONS

1.835



Citation distribution



ARTICLE CITATION MEDIAN

1

REVIEW CITATION MEDIAN

1.5

UNLINKED CITATIONS

185

Rank by Journal Impact factor

EDITION

Science Citation Index Expanded (SCIE)

CATEGORY

MATHEMATICS

24/330

JCR YEAR	JIF RANK	QUART ILE	JIF PERCENTILE
2020	24/330	Q1	92.88
2019	28/325	Q1	91.54
2018	75/314	Q1	76.27

Rank by Journal Citation Indicator (JCI)

CATEGORY

MATHEMATICS

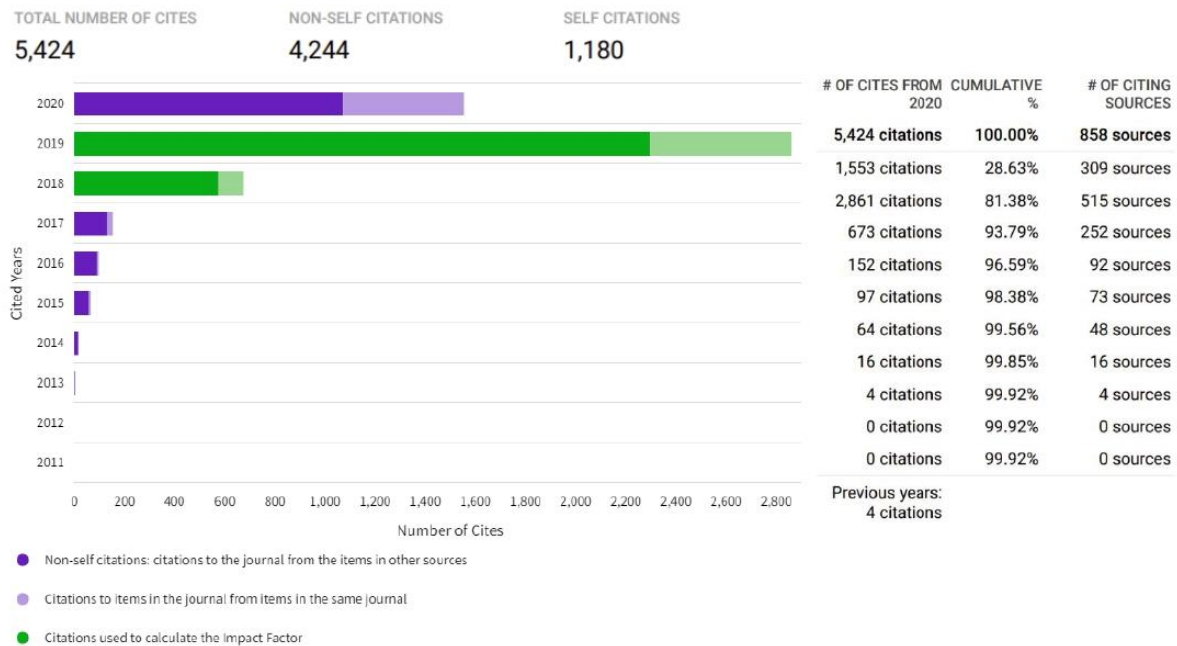
18/471

JCR YEAR	JCI RANK	QUART ILE	JCI PERCENTILE
2020	18/471	Q1	96.28
2019	24/470	Q1	95.00
2018	85/469	Q1	81.98
2017	105/462	Q1	77.38

Cited Half-life

1.4 years

The Cited Half-Life is the median age of the citations received by a journal during the JCR year



- Ahmad, N. & Junaini, S. (2020). Augmented Reality for Learning Mathematics: A Systematic Literature Review. *Int. J. Emerg. Technol. Learn. (ijET)* 15, 106–122.
- Akçayır, M. & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educ. Res. Rev.* 20, 1–11.
- Altmeyer, K., Kapp, S., Thees, M., Malone, S., Kuhn, J. & Brünken, R. (2020). The use of augmented reality to foster conceptual knowledge acquisition in STEM laboratory courses—Theoretical background and empirical results. *Br. J. Educ. Technol.*, 51, 611–628.
- Aydos, M. (2015). The Impact of Teaching Mathematics with Geogebra on the Conceptual Understanding of Limits and Continuity: The Case of Turkish Gifted and Talented Students. Ph.D. Thesis, Bilkent University, Ankara, Turkey.
- Azuma, R (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence Teleoper. Virtual Environ*, 6, 335–385.
- Bacca Acosta, J. L., Baldiris Navarro, S. M., Fabregat Gesa, R., & Graf, S. (2014). Augmented reality trends in education: a systematic review of research and applications. *Journal of Educational Technology and Society*, 2014, 17(4), p. 133-149.
- Baddeley, A. D. (1986). Working memory. Oxford: Oxford University Press.
- Ballew, M.T., Omoto, A.M. & Winter, P.L. (2015). Using Web 2.0 and Social Media Technologies to Foster Proenvironmental Action. *Sustainability*, 7, 10620–10648.
- Bar-Ilan, J. (2010). Citations to the “Introduction to informetrics” indexed by WOS, Scopus and Google Scholar. *Scientometrics* 82, 495–506.
- Behzadan, A. H., & Kamat, V. R. (2013). Enabling discovery-based learning in construction using telepresent augmented reality. *Automation in Construction*, 33, 3-10.
- Bennett, G.K.; Seashore, H.G. & Wesman, A.G. (1973). Differential Aptitude Test: Forms S and T; The Psychological Corporation: New York, NY, USA.

- Barke, H. D. (1993). Chemical education and spatial ability. *Journal of Chemical Education*, 70(12), 968.
- Battista, M. T. (1990). Spatial visualization and gender differences in high school geometry. *Journal for Research in Mathematics Education*, 21(1), 47-60.
- Bertschy, F., Künzli, C. & Lehmann, M. (2013). Teachers' Competencies for the Implementation of Educational Offers in the Field of Education for Sustainable Development. *Sustainability*, 5, 5067-5080.
- Billinghurst, M., Kato, H. & Poupyrey, I. (2001). The magicbook-moving seamlessly between reality and virtuality. *IEEE Comput. Graph. Appl.*, 21, 6-8.
- Billinghurst, M., & Duenser, A. (2012). Augmented reality in the classroom. *Computer*, 45(7), 56-63.
- Baldiris, S., Duque, N., Salas, D., Bernal, J., Fabregat, R., Mendoza, R., Puerta, Y., Puello, J., Solano, I. & Martínez, L. (2016). Recursos Educativos Aumentados. Una Oportunidad para la Inclusión; Sello Editorial Tecnológico Comfenalco: Cartagena de las Indias, Colombia; ISBN 978-958-59656-0-7.
- Billinghurst, M. (2002). Augmented reality in education. *New Horiz. Learn.*, 12, 5.
- Bishop, J.E. (1978). Developing students' spatial ability. *Sci. Teach.*, 45, 20-23.
- Blanco, T., Pegito, J. & Godino, J. (2007). Configuraciones epistémicas y cognitivas en tareas de visualización y razonamiento espacial. *Investigación en educación matemática*, ISBN 978-84-612-5856-7, 189-198.
- Bogomolova, K., van der Ham, I.J., Dankbaar, M.E., van den Broek, W.W., Hovius, S.E., van der Hage, J.A. & Hierck, B.P. (2020). The effect of stereoscopic augmented reality visualization on learning anatomy and the modifying effect of visual-spatial abilities: A double-center randomized controlled trial. *Anat. Sci. Educ.* 13, 558-567.
- Bryden, M. P. (1979). Evidence for sex-related differences in cerebral organization. *SexRelated Differences in Cognitive Functioning*, 121-143.
- Burnham, J.F. (2006). Scopus database: A review. *Biomed. Digit Libr.* 3, 1.

Cabero Almenara, J.; Llorente Cejudo, M.D.C. & Román Graván, P. (2004). Las herramientas de comunicación en el "aprendizaje mezclado". *Pixel-Bit. Rev. Medios Y Educ.*, 23, 27–41.

Cabero Almenara, J., & Barroso Osuna, J. M. (2016). Posibilidades educativas de la Realidad Aumentada. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 5 (1), 46-52.

Cabero, J., Fernández, B. & Marín, V. (2017). Dispositivos móviles y realidad aumentada en el aprendizaje del alumnado universitario. *RIED*, 20, 167–185.

Camba, J.D., Contero, M., & Salvador-Herranz, G. (2014). Desktop vs. mobile: A comparative study of augmented reality systems for engineering visualizations in education. *2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings*, 1-8.

Campillo, E., Ricarte, J.J., Ros, L., Nieto, M. & Latorre, J.M. (2018). Effects of the Visual and Auditory Components of a Brief Mindfulness Intervention on Mood State and on Visual and Auditory Attention and Memory Task Performance. *Curr. Psychol.*, 37, 357–365.

Carbonell Carrera, C., & Bermejo Asensio, L. A. (2017). Landscape interpretation with augmented reality and maps to improve spatial orientation skill. *Journal of Geography in Higher Education*, 41(1), 119-133.

Carajaville, J., Fernández, T & Godino, J. (2006). Configuraciones epistémicas y cognitivas en tareas de visualización y razonamiento espacial. En Investigación en Educación Matemáticas. X Simposio de la SEIEM; Bolea, P., Camacho, M., Flores, P., Gómez, B., Murillo, J., González, M., Eds.; SEIEM: Huesca; 7–26.

Cardoso, A. V. (2010). Aprendizagem científica e tecnológica no ensino médio: uma experiência de design de material didático em 3D. *Anais do II Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia*. Cuitiba, 1-17.

Carmigniani, J., Dueht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Daminani, E., & Ivkovic, M. (2010). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*, 51 (1), 341-377.

Carroll, J. B. (1993). Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies (No. 1). Cambridge University Press.

Carvalho, C.V.D.A.; De Medeiros, L.G.F.; De Medeiros, A.P.M. & Santos, R.M. (2009). Papert's microworld and geogebra: A proposal to improve teaching of functions. *Create. Educ.*, 10, 1525.

Castro-Alonso, J.C., Ayres, P. & Sweller, J. (2019). Instructional visualizations, cognitive load theory, and visuospatial processing. In *Visuospatial Processing for Education in Health and natural Sciences*; Castro-Alonso, J.C., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 111–143.

Caudell, T.P., & Mizell, D.W. (1992). Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*, Kauai, HI, USA, 7–10, 2, 659–669.

Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293-332.

Chang, G., Morreale, P. & Medicherla, P. (2010). Applications of augmented reality systems in education. In *Proceedings of the Society for Information Technology & Teacher Education International Conference*, San Diego, CA, USA; Gibson, D., Dodge, B., Eds.; AACE: Chesapeake, VA, USA, 2010, 1380–1385.

Chen, Y. C., Wang, S. J., & Chiang, Y. L. (2009). Exploring the effect of presence in an AR-based learning environment. Paper presented at the 13th Global Chinese Conference on Computers in Education, Taipei.

Chen, Y.C.; Chi, H.L.; Hung, W.H. & Kang, S.C (2011). Use of tangible and augmented reality models in engineering graphics courses. *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pr.* 137, 267–276.

Chen, P., Liu, X., Cheng, W., & Huang, R. (2017). A review of using Augmented Reality in Education from 2011 to 2016. *Innovations in smart learning*, 13-18.

Cohen, J. (1968). Weighted kappa: Nominal scale agreement provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychol. Bull.* 70, 213–220.

Contero, M., Gomis, J. M., Naya, F., Albert, F., & Martin-Gutierrez, J. (2012). Development of an augmented reality based remedial course to improve the spatial ability of engineering students. In *2012 Frontiers in Education Conference Proceedings* (pp. 1-5). IEEE.

Clements, D. H., & Battista, M. T. (1992). Geometry and spatial reasoning. In Grouws D.A. (Ed.), *Handbook of research on Mathematics Teaching and Learning*, (pp. 420-463). New York: Macmillan.

Crespo, B.; Míguez-Álvarez, C.; Arce, M.E.; Cuevas, M. & Míguez, J.L. (2017). The Sustainable Development Goals: An Experience on Higher Education. *Sustainability*, 9, 1353.

Davies, C. H. (2002). Student engagement with simulations: a case study. *Computers & Education*, 39(3), 271–282.

Del Cerro Velázquez, F., & Lozano Rivas, F. (2019). Proyecto Técnico Ecourbano apoyado en las TIC para el aprendizaje STEM (Dibujo Técnico) y la consolidación de los ODS en el aula. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 19(60). doi:10.6018/red/60/04

Del Cerro Velázquez, F. & Morales Méndez, G. (2017). Augmented Reality as a tool for improving spatial intelligence in secondary education students. *RED. Revista de Educación a Distancia* 54 (5). doi:10.6018/red/54/5

Del Cerro Velázquez, F. & Morales Méndez, G. (2018). Augmented reality and mobile devices: A binominal methodological resource for inclusive education (SDG 4). An example in secondary education. *Sustainability*, 10, 3446. doi:10.3390/su10103446

Del Cerro Velázquez, F. & Morales Méndez, G. (2021a). Application in Augmented Reality for Learning Mathematical Functions: A Study for the Development of Spatial Intelligence in Secondary Education Students. *Mathematics*, 9 (4), 369. doi:10.3390/math9040369

Del Cerro Velázquez, F. & Morales Méndez, G. (2021b). Systematic Review of the Development of Spatial Intelligence through Augmented Reality in STEM Knowledge Areas. *Mathematics*, 9(23), 3067. doi:10.3390/math9233067

Dey, A., Billinghamurst, M., Lindeman, R. W., & Swan, J. (2018). A systematic review of 10 years of augmented reality usability studies: 2005 to 2014. *Frontiers in Robotics and AI*, 5, 37.

- Diegmann, P., Schmidt-Kraepelin, M., Eynden, S., & Basten, D. (2015). Benefits of augmented reality in educational environments-a systematic literature review. *Benefits*, 3(6), 1542-1556.
- Doerr, H.M. y Zangor, R. (2000). Creating Meaning for and with the Graphing Calculator. *Educ. Stud. Math.*, 41, 143–163.
- Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2009). Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of science Education and Technology*, 18(1), 7-22.
- Dünser, A., Steinbügl, K., Kaufmann, H., & Glück, J. (2006). Virtual and augmented reality as spatial ability training tools. In Proceedings of the 7th ACM SIGCHI New Zealand chapter's international conference on Computer-human interaction: design centered HCI (125-132).
- El Koussy, A. A. H. (1935). An investigation into the factors in tests involving the visual perception of space (No. 20). The University Press.
- Escudero, J.M. & Martínez, B. (2011). Educación inclusiva y cambio escolar. *Revista Iberoamericana de Educación*, 55, 85–105.
- Estebanell, M. (2002). Interactividad e interacción. *Revista Interuniversitaria de Tecnología Educativa*, 1, 15–25.
- Fabian, K., Topping, K.J. & Barron, I.G. (2016). Mobile technology and mathematics: Effects on students' attitudes, engagement, and achievement. *J. Comput. Educ.*, 3, 77–104.
- Fernández, F., Hinojo, F. & Aznar, I. (2002). Las actitudes de los docentes hacia la formación en Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) aplicadas a la educación. *Contextos Educ.*, 5, 253–270.
- Feygin, D., Keehner, M., & Tendick, R. (2002). Haptic guidance: Experimental evaluation of a haptic training method for a perceptual motor skill. In Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, 2002. HAPTICS 2002. Proceedings. 10th Symposium. IEEE, 40-47.
- Fiolhais. C. & Trinidad, J. (2003). Física no Computador: o Computador como uma Ferramenta no Ensino e na Aprendizagem das Ciências Físicas. *Revista Brasileira de Enisno de Física*, 25 (3).

Fleacă, E., Fleacă, B. & Maiduc, S. (2018). Aligning Strategy with Sustainable Development Goals (SDGs): Process Scoping Diagram for Entrepreneurial Higher Education Institutions (HEIs). *Sustainability*, 10, 1032.

Fombona, J., Pascual, M., & Ferreira, M. (2012). Realidad aumentada, una evolución de las aplicaciones de los dispositivos móviles. *Pixel-Bit. Revista De Medios Y Educación*, (41), 197-210.

Fraenkel, J. R., & Wallen, N. E. (2006). How to design and evaluate research in education. New York: McGraw-Hill.

Freeman, J. (1975). The modelling of spatial relations. *Comput. Graph. Image Process*, 4, 156–171.

Fuentes- Cabrera, A., Parra-González, M.E., López-Belmonte, J. & Segura-Robles, A (2020). Learning mathematics with emerging methodologies— The Escape room as a case study. *Mathematics* 8, 1586.

Galati, A., & Avraamides, M. N. (2012). Collaborating in spatial tasks: Partners adapt the perspective of their descriptions, coordination strategies, and memory representations. In. C. Stachniss, K. Schill, & D. Uttal (Eds.) *Lecture Notes in Artificial Intelligence: Spatial Cognition*, 7463, 82–195. Heidelberg: Springer.

Galton, F. (1883). *Inquiries into human faculty and its development*. Macmillan.

García, I., Peña, I., Johnson, L., Smith, R., Levine, A. & Haywood, K. (2010). Informe Horizon: Edición Iberoamericana 2010; The New Media Consortium: Austin, TX, USA.

García, M.D.M. (2011). Evolución de Actitudes y Competencias Matemáticas en Estudiantes de Secundaria al Introducir Geogebra en el Aula. Tesis Doctoral, Departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales Facultad de Ciencias de la Educación Universidad de Almería, Almeria, Spain.

García, C.F., Sánchez, M.D.P., Martínez, P.B. & García, M.R.B. (2014). Validez y fiabilidad de los instrumentos de evaluación de las inteligencias múltiples en los primeros niveles instruccionales. *Psicothema*, 16, 7–13.

Gardner, H. (1983). *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*; Hachette: New York, NY, USA.

- Garzón, E., Sola, T., Ortega, J.L., Marín, J.A. & Gómez, G. (2020). Teacher training in lifelong learning—The importance of digital competence in the encouragement of teaching innovation. *Sustainability*, 12, 2852.
- Gerjets, P., & Scheiter, K. (2003). Goal configurations and processing strategies as moderators between instructional design and cognitive load: Evidence from hypertext-based instruction. *Educational Psychologist*, 38(1), 33–41.
- Gerven, P. W. M., Paas, F., Merriënboer, J. J. G., Hendriks, M., & Schmidt, H. G. (2003). The efficiency of multimedia learning into old age. *British Journal of Educational Psychology*, 73(4), 489-505.
- Gibson, J.J. (1950). *The Perception of the Visual World*; Houghton Mifflin: Oxford, UK.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115–130.
- Gómez-García, M., Trujillo-Torres, J. M., Aznar-Díaz, I., & Cáceres-Reche, M. P. (2018). Augment reality and virtual reality for the improvement of spatial competences in Physical Education. *Journal of Human Sport and Exercise*, 13(2proc), 189-198.
- Gómez-Tone, H.C., Martin-Gutierrez, J., Valencia Anci, L. & Mora Luis, C.E. (2020). International comparative pilot study of spatial skill development in engineering students through autonomous augmented reality-based training. *Symmetry*, 12, 1401.
- González, N. A. A. (2018). Development of spatial skills with virtual reality and augmented reality. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 12(1), 133-144.
- Guay, R. (1977). *Purdue Spatial Visualization Test*; Purdue University: West Lafayette, IN, USA.
- Guilford, J. P., & Lacey, J. I. (Eds.). (1947). *Printed classification tests (No. 5)*. US Government Printing Office.
- Gün, E.T. & Atasoy, B. (2017). The effects of augmented reality on elementary school students' spatial ability and academic achievement. *Egit. Ve Bilim*, 42, 191.

Gutierrez, A. (1996). Visualization in 3-Dimensional Geometry: In Search of a Framework. In L. Puig, & A. Gutierrez (Eds.), Proceedings of the 20th International Conference for the Psychology of Mathematics Education, 1, 3-19.

Gutiérrez de Ravé, E., Jiménez-Hornero, F.J., Ariza-Villaverde, A.B. & Taguas-Ruiz, J. (2016). DiedricAR: A mobile augmented reality system designed for the ubiquitous descriptive geometry learning. *Multimed. Tools Appl.*, 75, 9641–9663.

Haberman, M. (2010). The pedagogy of poverty versus good teaching. *Phi Delta Kappan*, 2, 81–87.

Habig, S. (2020). Who can benefit from augmented reality in chemistry? Sex differences in solving stereochemistry problems using augmented reality. *Br. J. Educ. Technol.* 51, 629–644.

Harle, M., & Towns, M. (2011). A review of spatial ability literature, its connection to chemistry, and implications for instruction. *Journal of Chemical Education*, 88(3), 351–360.

Herrera, L.M., Pérez, J.C. & Ordóñez, S.J. (2019). Developing spatial mathematical skills through 3D tools: Augmented reality, virtual environments and 3D printing. *Int. J. Interact. Des. Manuf. (IJIDeM)* 13, 1385–1399.

Hinojo, F.J., Fernández, F.D. & Díaz, I. (2002). Las actitudes de los docentes hacia la formación en tecnologías de la información y comunicación (TIC) aplicadas a la educación. *Contextos Educ. Rev. Educ.* 5, 253–270.

Hinojo, F.J., Trujillo, J.M., Marín, J.A. & Rodríguez, C. (2020). B-learning in basic vocational training students for the development of the module of applied sciences I. *Mathematics*, 8, 1102.

Hohenwarter, M. & Fuchs, K. (2004). Combination of dynamic geometry, algebra and calculus in the software system GeoGebra. In Computer Algebra Systems and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Teaching Conference; ZDM Mathematics Education: Pécs, Hungary, 1–6.

Hohenwarter, M. (2006). Dynamic investigation of functions using GeoGebra. In Proceedings of the Dresden International Symposium on Technology and its Integration into Mathematics Education, Dresden, Germany; 1–5.

Hoic-Bozic, N., Mornar, V. & Boticki, I. (2008). A blended learning approach to course design and implementation. *IEEE Trans. Educ.*, 52, 19–30.

Hsu, Y.C., Hung, J.L. & Ching, Y.H. (2013). Trends of educational technology research: More than a decade of international research in six SSCI-indexed refereed journals. *Educ. Technol. Res. Dev.* 61, 685–705.

Hwang, G. J., Wu, P. H., Chen, C. C., & Tu, N. T. (2016). Effects of an augmented reality-based educational game on students' learning achievements and attitudes in real-world observations. *Interactive Learning Environments*, 24(8), 1895-1906.

ICT in Education Prize. Disponible online: <https://en.unesco.org/themes/ict-education/ict-education-prize> (consultado el 8 de diciembre de 2021).

Jabareen, Y. (2012). Towards a Sustainability Education Framework: Challenges, Concepts and Strategies—The Contribution from Urban Planning Perspectives. *Sustainability*, 4, 2247–2269.

Jeong, B. & Yoon, J. (2017). Competitive Intelligence Analysis of Augmented Reality Technology Using Patent Information. *Sustainability*, 9, 497.

Jeřábek, T., Rambousek, V., & Wildová, R. (2014). Specifics of visual perception of the augmented reality in the context of education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 159, 598-604.

Jonhson, L., Levine, A., Smith, R. & Stone, S. (2010). The 2010 Horizon Report; New Media Consortium: Austin, TX, USA; ISBN 978-0-9825-3343-7.

Johnson, L., Adams, S. & Cummins, M. (2012). The NMC Horizon Report: 2012 Higher Education Edition; The New Media Consortium, Austin, TX, USA.

Johnson, L., Adams Becker, S., Cummins, M., Estrada, V., Freeman, A. & Ludgate, H. (2013). NMC Horizon Report: 2013 Higher Education Edition; The New Media Consortium: Austin, TX, USA.

Junaio. (6.0.5.1). [Programa informático]. Munich, Alemania: Metaio GmbH.

Kaufmann, H., & Schmalstieg, D. (2002). Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality. In Proceedings of the ACM SIGGRAPH, Online, 17–28, 37–41.

Kaufmann, H. (2004). Geometry education with augmented reality. (Tesis doctoral), Vienna University of Technology, Vienna, Austria.

Ketschau, T.J. (2017). A Conceptual Framework for the Integration of Corporate Social Responsibility and Human Resource Development Based on Lifelong Learning. *Sustainability*, 9, 1545.

Kitchenham, B., Brereton, O.P., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J. & Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering– a systematic literature review. *Inf. Softw. Technol.* 51, 7–15.

Kiyokawa, K., Billingham, M., Hayes, S., Gupta, A., Sannohe, Y. & Kato, H. (2002). Communication Behaviors of Co-Located Users in Collaborative AR Interfaces. In IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality; IEEE Computer Society Press: Darmstadt, Germany, 139–148.

Knuth, E.J. (2000). Student understanding of the Cartesian connection: An exploratory study. *J. Res. Math. Educ.*, 31, 4, 500–507.

Lastra, R.P. (2000). Encuestas probabilísticas vs. no probabilísticas. *Polít. Cult.*, 13, 263–276.

Layar. Disponible: <http://www.layar.com> (consultado el 8 de diciembre de 2021).

Lee, K. (2012). Augmented Reality in Education and Training. *TechTrends*, 56, 13–21.

Leicht, A.; Heiss, J. & Byun, W.J. (2018). Issues and Trends in Education for Sustainable Development; UNESCO Publishing: Paris, France. Disponible online: <http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261445e.pdf> (consultado el 8 de diciembre de 2021).

Lenahan, M.E., Summers, M.J., Saunders, N.L., Summers, J.J. & Vickers, J.C. (2015). Relationship between education and age-related cognitive decline: A review of recent research. *Psychogeriatrics*, 15, 154–162.

Liao, Y. T., Yu, C. H., & Wu, C. C. (2015). Learning geometry with augmented reality to enhance spatial ability. In 2015 *international conference on learning and teaching in computing and engineering* (pp. 221-222). IEEE.

Lieu, D.K. & Sorby, S.A. (2009). *Visualization, Modeling, and Graphics for Engineering Design*; Delmar, Cengage Learning: Clifton Park, NY, USA.

Lin, H. C. K., Chen, M. C., & Chang, C. K. (2015). Assessing the effectiveness of learning solid geometry by using an augmented reality-assisted learning system. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 799-810.

Linn, M.C. & Petersen, A.C. (1985). Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability: A Meta-Analysis. *Child Dev.*, 56, 1479–1498.

Lohman, D. F. (1979). Spatial ability: A review and reanalysis of the correlational literature.

Lohman, D. F., & Kyllonen, P. C. (1983). Individual differences in solution strategy on spatial tasks. *Individual Differences in Cognition*, 1, 105–135.

López Belmonte, J., Moreno-Guerrero, A. J., López Núñez, J. A., & Pozo Sánchez, S. (2019). Analysis of the productive, structural, and dynamic development of augmented reality in higher education research on the web of science. *Applied Sciences*, 9(24), 5306.

Maier, P.H. (1994). *Räumliches Vorstellungsvermögen: Komponenten, geschlechtsspezifische Differenzen, Relevanz, Entwicklung und Realisierung in der Realschule*; Lang: Bern, Switzerland.

Maier, P. H. (1996). Spatial geometry and spatial ability—How to make solid geometry solid. In *Selected papers from the Annual Conference of Didactics of Mathematics* (pp. 63-75).

Mark, D. M. (1993). Human spatial cognition. *Human factors in geographical information systems*, 51-60.

Marshall, C. (2005). Reading and interactivity in the digital library: Creating an experience that transcends paper. In *Proceedings of the CLIR/Kanazawa Institute of Technology Roundtable, Kanazawa*, 5, 1–20.

Martín-Gutiérrez, J., Saorín, J.L., Contero, M., Alcañiz, M., Pérez-López, D.C. & Ortega, M. (2010). Design and validation of an augmented book for spatial abilities development in engineering students. *Comput. Graph.* 34, 77–91.

- Martínez-Graña, A.M., González-Delgado, J., Pallarés, S., Goy, J.L. & Llovera, J.C. (2014). 3D Virtual Itinerary for Education Using Google Earth as a Tool for the Recovery of the Geological Heritage of Natural Areas: Application in the “Las Batuecas Valley” Nature Park (Salamanca, Spain). *Sustainability*, 6, 8567–8591.
- Mayer, R. E. (2002). Multimedia learning. *Psychology of Learning and Motivation*, 41, 85–139.
- McFarlane, M. (1925). A Study of Practical Ability: Diss., Univ. of London. Illustr (Tesis Doctoral).
- Means, B. & Haertel, G.D. (2004). Using Technology Evaluation to Enhance Student Learning; Teachers College Press: New York, NY, USA.
- Metaio Creator. (6.02). [Programa informático]. Munich, Alemania: Metaio GmbH.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F. (1995). Augmented Reality: A class of displays on the realityvirtuality continuum. *Telemanipulator Telepresence Technol.*, 2351, 282–292.
- Mohler, J. L. (2006). Computer graphics education: where and how do we develop spatial ability? *Proceedings of Eurographics, Education Papers*, 79–86.
- Morales Méndez, G. (2014). *Realidad aumentada como estrategia innovadora para el aprendizaje en educación secundaria*. [Trabajo fin de máster]. Universidad de Murcia.
- Morales Méndez, G. & Del Cerro Velázquez, F. (2020). *Realidad aumentada como herramienta de apoyo en la enseñanza de máquinas térmicas motoras*. V Encuentro de Ingeniería de la Energía del Campus Mare Nostrum. Murcia, España. <http://hdl.handle.net/10201/113026>
- Moreno, A., Aznar, I., Cáceres, P. & Alonso, S. (2020). E-learning in the teaching of mathematics: An educational experience in adult high school. *Mathematics*, 8, 840.
- Moschkovich, J., Schoenfeld, A.H. & Arcavi, A (1993). Aspects of understanding: On multiple perspectives and representations of linearelations and connections among them. *Integrat. Res. Graph. Represent. Funct.*, 90, 69–100.

- National Research Council. (2006). Learning to think spatially: GIS as a support system in the K-12 curriculum, Washington, DC: National Academies Press.
- Nielsen, B.L., Brandt, H. & Swensen, H. (2016). Augmented reality in science education-affordances for student learning. *Nord. Stud. Sci. Educ.*, 12, 157–174.
- Nieveen, N., & Folmer, E. (2013). Formative evaluation in educational design research. *Design Research*, 153, 152-169.
- Norman, K. L. (1994). Spatial Visualization—A Gateway to Computer-Based Technology. *Journal of Special Education Technology*, 12(3), 195–206.
- O'Dwyer, L.M. & Bernauer, J.A. (2013). Quantitative Research for the Qualitative Researcher; SAGE Publications: Thousand Oaks, CA, USA.
- Oitzl, M.S., de Kloet, E.R. (1992). Selective corticosteroid antagonists modulate specific aspects of spatial orientation learning. *Behav. Neurosci.*, 106, 62.
- Omar, M., Ali, D., Mokhtar, M., Zaid, N., Jambari, H. & Ibrahim, N. (2019). Effects of Mobile Augmented Reality (MAR) towards students' visualization skills when learning orthographic projection. *Int. J. Emerg. Technol. Learn. (ijET)*, 14, 106–119.
- Olesky, T. & Wnuk, A. (2016). Augmented places: An impact of embodied historical experience on attitudes towards places. *Comput. Hum. Behav.*, 57, 11–16.
- Olkun, S. (2003) Making Connections: Improving Spatial Abilities with Engineering Drawing Activities, *International Journal of Mathematics Teaching and Learning*, 1-10.
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1-4.
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38(1), 63-71.
- Park, J., Carter, G., Butler, S., Slykhuis, D. & Reid-Griffin, A. (2008). Re-dimensional thinking in earth science: From 3-d virtual reality panoramas to 2-d contour maps. *J. Interact. Learn. Res.*, 19, 75–90.

- Pierce, R. (2005). Linear functions and a triple influence-f teaching-n the development-f students algebraic expectation. *Int. Group Psychol. Math. Educ.* 4, 81–88.
- Plass, J. L., Moreno, R., & Brünken, R. (2010). *Cognitive load theory*. New York: Cambridge University Press.
- Plomp, T. (2013). Educational design research: An introduction. *Educational design research*, 11-50.
- Prendes, C. (2015). Realidad aumentada y educación: Análisis de experiencias prácticas. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 46, 187–203.
- Quintero, E., Salinas, P., González-Mendivil, E., & Ramírez, H. (2015). Augmented reality app for calculus: A proposal for the development of spatial visualization. *Procedia Computer Science*, 75, 301-305.
- Radu, I. (2014). Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(6), 1533-1543.
- Radomska, J. (2015). The Concept of Sustainable Strategy Implementation. *Sustainability*, 7, 15847–15856.
- Richey, R. C., & Klein, J. D. (2014). Design and development research. In *Handbook of research on educational communications and technology*, 141-150. Springer, New York, NY.
- Rincon, L.F. (2019). *Designing Dynamic and Interactive Applications Using Geogebra Software in the 6–12 Mathematics Curriculum*. Ph.D. Thesis, Kean University, Union, NJ, USA.
- Rivera Alvarado, L.A., López Domínguez, E., Hernández Velázquez, Y., Domínguez Isidro, S. & Excelente Toledo, C.B. (2018). Layered Software Architecture for the Development of Mobile Learning Objects with Augmented Reality. *IEEE Access*, 6, 57897–57909.
- Roca González, C., Martín Gutierrez, J., García Dominguez, M. & Mato Carrodegas, M.D.C. (2017). Virtual Technologies to Develop Visual-Spatial Ability in Engineering Students. *Eurasia J. Math. Sci. Technol. Educ.*, 13, 441–468.

- Rodríguez, A.M.; Romero, J.M. & Fuentes, A. (2019). Ampliando fronteras de comunicación y colaboración a través de la red: La competencia digital como medio para promover la interculturalidad académica. *Tendencias Pedagógicas*, 33, 59–68.
- Rohendi, D., Septian, S. & Sutarno, H. (2018). The Use of Geometry Learning Media Based on Augmented Reality for Junior High School Students. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*; IOP Publishing: Manado, North Sulawesi, Indonesia, 306, 12029.
- Rönnlund, M., Sundström, A. & Pudas, S. (2017). Midlife level and 15-year changes in general cognitive ability in a sample of men: The role of education, early adult ability, BMI, and pulse pressure. *Intelligence*, 61, 78–84.
- Roussos, M., Jhonson, A., Moher, T., Leigh, J., Vasilakis, C. & Barnes, C. (1999). Learning and Building Together in an Immersive Virtual World. *Presence Teleoper. Virtual Environ.*, 8, 247–263.
- Saha, R.A., Ayub, A.F.M. & Tarmizi, R.A. (2010). The effects of GeoGebra on mathematics achievement: Enlightening coordinate geometry learning. *Proc. Soc. Behav. Sci.*, 8, 686–693.
- Saidin, N. F., Halim, N. D. A., & Yahaya, N. (2015). A review of research on augmented reality in education: Advantages and applications. *International education studies*, 8(13), 1-8.
- Saltan, F., & Arslan, Ö. (2016). The use of augmented reality in formal education: A scoping review. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(2), 503-520.
- Samsudin, K.; Rafi, A., & Hanif, A.S. (2011). Training in mental rotation and spatial visualization and its impact on orthographic drawing performance. *J. Educ. Technol. Soc.* 14, 179–186.
- Sanjuán, J., León, C., Tubío, F. (2014). Las habilidades espaciales de los estudiantes de las nuevas titulaciones técnicas. Estudio en la Universidad de Granada. EGA. *Revista de expresión gráfica arquitectónica*. 19, 264.

- Sanz, M.T.; López-Iñesta, E.; Garcia-Costa, D.; Grimaldo & F. (2020). Measuring arithmetic word problem complexity through heading comprehension and learning analytics. *Mathematics*, 8, 1556.
- Schmalstieg, D. & Höllerer, T. (2016). *Augmented Reality: Principles and Practice*; Addison-Wesley: Boston, MA, USA, ISBN 978-0321883575.
- Shelton, B. E. (2003). How augmented reality helps students learn dynamic spatial relationships. (Tesis Doctoral) Recuperado de: ProQuest Dissertations and Theses. (UMI No. 3111130)
- Shelton, B. E., & Hedley, N. R. (2004). Exploring a cognitive basis for learning spatial relationships with augmented reality. *Technology, Instruction, Cognition and Learning*, 1(4), 323.
- Shepard, R.N. & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 191, 701–703.
- Silverman, D. (2002). *Doing Qualitative Research: A Practical Handbook*. London: SAGE Publications.
- SketchUp Maker. (16.1.1449). [Programa informático]. Sunnyvale, California: Trimble Navigation.
- Snow, R. E. (1999). Commentary: Expanding the breadth and depth of admissions testing. In S. J. Messick (Ed.), *Assessment in higher education: Issues of access, quality, student development, and public policy*. 133–140. Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Sorby, S.A. (2007). Developing 3D spatial skills for engineering students. *Australas. J. Eng. Educ.*, 13, 1–11.
- Spearman, C. (1927). The abilities of man: Their nature and measurement. *Journal of Philosophical Studies*, 2 (8).
- StatCounter GlobalStats. (2016). Mobile and Tablet Internet Usage Exceeds Desktop for First Time Worldwide. Disponible online: <http://gs.statcounter.com/press/mobile-and-tablet-internet-usage-exceeds-desktop-forfirst-time-worldwide> (consultado el 8 de diciembre de 2021).

- Steding, J. & Holthoff-Detto, V. (2016). Kognitive Reserve und Potenzial im Alter. *DNP Der Neurologe und Psychiater* 17, 50–58.
- Sutherland, I. (1965). The ultimate display. Proceedings of the IFIPS Congress 65(2), 506-508. New York: IFIP.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and instruction*, 4(4), 295-312.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- Tabbers, H. K., Martens, R. L., & Merriënboer, J. J. G. (2004). Multimedia instructions and cognitive load theory: Effects of modality and cueing. *British Journal of Educational Psychology*, 74(1), 71-81.
- Tang, A., Owen, C., Biocca, F., & Mou, W. (2003). Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, 73-80.
- Thambi, N. & Eu, L.K. (2013). Effect of students' achievement in-ractions using GeoGebra. *SAINSAB* 16, 97–106.
- Thomazet, S. (2009). From Integration to Inclusive Education: Does Changing the Terms Improve Practice? *Int. J. Incl. Educ.*, 13, 553–563.
- Thornton, T., Ernst, J. V., & Clark, A. C. (2012). Augmented reality as a visual and spatial learning tool in technology education. *Technology and Engineering Teacher*, 71(8), 18-21.
- Thurstone, L. L. (1938). Primary mental abilities. Psychometric monographs.
- Tilbury, D., Janousek, S., Elias, D. & Bacha, J. (2017). Asia-Pacific Guidelines for the Development of National ESD Indicators; UNESCO: Bangkok, Thailand. Disponible online: <http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001552/155283e.pdf> (consultado el 8 de diciembre de 2021).
- Towle, E., Mann, J., Kinsey, B., Brien, E. J., Bauer, C. F., & Champoux, R. (2005). Assessing the self efficacy and spatial ability of engineering students from

multiple disciplines. In *Frontiers in Education*, 2005. FIE'05. Proceedings 35th Annual Conference (p. S2C–15).

United Nations UN. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. United Nations: New York, NY, USA. ISBN 9780192820808.

United Nations UN. (2015). *The Millennium Development Goals: 2015 Report*; United Nations: New York, NY, USA. Disponible online: [https://www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%202015%20rev%20\(July%201\).pdf](https://www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%202015%20rev%20(July%201).pdf) (consultado el 8 de diciembre de 2021).

United Nations UN. (2016). *The Sustainable Development Goals Report 2016*. United Nations: New York, NY, USA. ISBN 978-992-1-101340-5.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization UNESCO. (2005). *Guidelines for Inclusion: Ensuring Access to Education for All*; UNESCO Publishing: Paris, France, 2005. Disponible online: <http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002651/265142e.pdf> (consultado el 8 de diciembre de 2021).

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization UNESCO. (2005). *Education for All 2000–2015: Achievements and Challenges*; UNESCO Publishing: Paris, France. Disponible online: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002322/232205e.pdf> (consultado el 8 de diciembre de 2021).

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization UNESCO. (2013). *Policy Guidelines for Mobile Learning*; UNESCO Publishing: Paris, France. Disponible online: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002196/219641E.pdf> (consultado el 8 de diciembre de 2021).

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization UNESCO. (2014). *UNESCO Roadmap for Implementing the Global Action Programme on Education for Sustainable Development*; UNESCO Publishing: Paris, France. Disponible online: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002305/230514e.pdf> (consultado el 8 de diciembre de 2021).

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization UNESCO. (2014). UNESCO Education Strategy 2014–2021; UNESCO Publishing: Paris, France. Disponible online: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002312/231288e.pdf> (consultado el 8 de diciembre de 2021).

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization UNESCO. (2015). Education 2030: Incheon Declaration; UNESCO Publishing: Paris, France. Disponible online: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002456/245656e.pdf> (consultado el 8 de diciembre de 2021).

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization UNESCO. (2017). UNESCO Education for Sustainable Development Goals; UNESCO Publishing: Paris, France. Disponible online: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002474/247444e.pdf> (consultado el 8 de diciembre de 2021).

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization UNESCO. (2017). A Human Rights-Based Approach to Education; UNESCO Publishing: Paris, France. Disponible online: <http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001548/154861e.pdf> (consultado el 8 de diciembre de 2021).

Valavičová, L.; Ondruška, J.; Zelenický, L.; Chytrý, V.; Medová, J. (2020). Enhancing computational thinking through interdisciplinary STEAM activities using tablets. *Mathematics*, 8, 2128.

Valero, M. (2010). Tecnologías para la Educación Inclusiva: De la integración a la interacción. In 25 Años de Integración Escolar en España: Tecnología e Inclusión en el Ámbito Educativo, Laboral y Comunitario; Arnaiz, P., Hurtado, M.D., Soto, F.J., Eds.; Consejería de Educación, Formación y Empleo: Murcia, España, 1–5. ISBN 978-984-693-1781-5.

Van Krevelen, D. & Poelman, R. (2010). A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *International Journal of Virtual Reality*, 9(2), 1.

Van Merriënboer, J., Schuurman, J., De Croock, M., & Paas, F. (2002). Redirecting learners' attention during training: Effects on cognitive load, transfer test performance and training efficiency. *Learning and Instruction*, 12(1), 11-37.

Van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147-177.

Vandenberg, S.G. & Kuse, A.R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Percept. Mot. Ski.*, 47, 599–604.

Vian, K. (2009). Blended Reality: Superstructuring Reality, Superstructuring Selves. Disponible online: <http://www.iftf.org/node/2598> (consultado el 8 de diciembre de 2021).

Vigotsky, L.S. (1978). *Thought and Language*; MIT Press: Cambridge, UK.

Wai, J., Lubinski, D., & 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.

Waltner, E.-M., Rieß, W. & Brock, A. (2018). Development of an ESD Indicator for Teacher Training and the National Monitoring for ESD Implementation in Germany. *Sustainability*, 10, 2508.

Wang, F., & Hannafin, M. J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational technology research and development*, 53(4), 5-23.

Wickens, C. D., Helton, W. S., Hollands, J. G., & Banbury, S. (2021). *Engineering psychology and human performance*. Routledge.

Wu, H. K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465–492.

Yerushalmy, M. & Schwartz, J.L. (1993). Seizing the opportunity to make algebra mathematically and pedagogically interesting. In *Integrating Research on the Graphical representation Functions*; Omberg, T.A., Fennema; E., Arpenter, T., Eds.; Lawrence Erlbaum: Hillsdale, NJ, USA, 41–68.

Yerushalmy, M. (2006). Slower algebra students meet faster tools: Solving algebra word problems with graphing software. *J. Res. Math. Educ.*, 36, 356–387.

Zapata, M. (2015). Pensamiento computacional: Una nueva alfabetización digital. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 46, 1–47.

Zapata, M. (2015). Teorías y modelos sobre el aprendizaje en entornos conectados y ubicuos. Bases para un nuevo modelo teórico a partir de una visión crítica del “conectivismo”. *Educ. Know. Soc.*, 16, 69–102.

Zhou, F., Duh, H. & Billinghurst, M. (2008). Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR. In Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Cambridge, MA, USA, 193–202.

Zou, Y., Zhao, W., Mason, R. & Li, M. (2015). Comparing Sustainable Universities between the United States and China: Cases of Indiana University and Tsinghua University. *Sustainability*, 7, 11799–11817.

APÉNDICE A. EJERCICIOS ISOMETRÍA EN RA



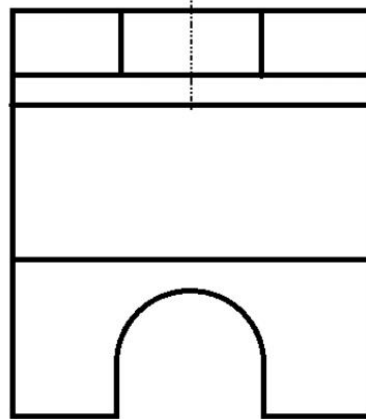
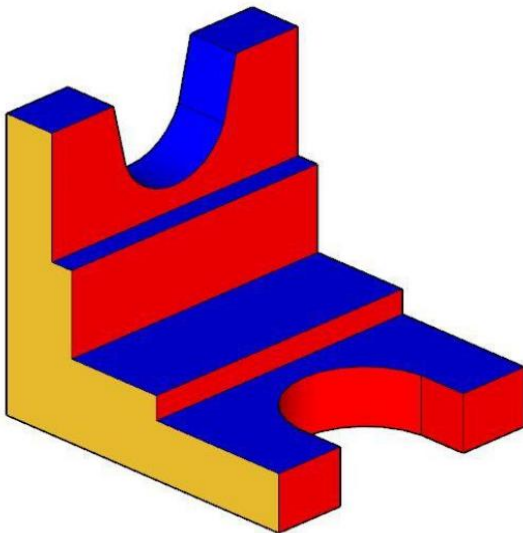
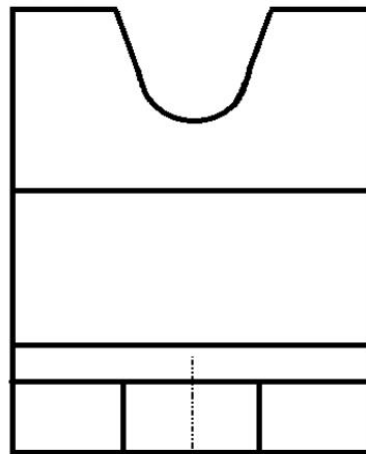
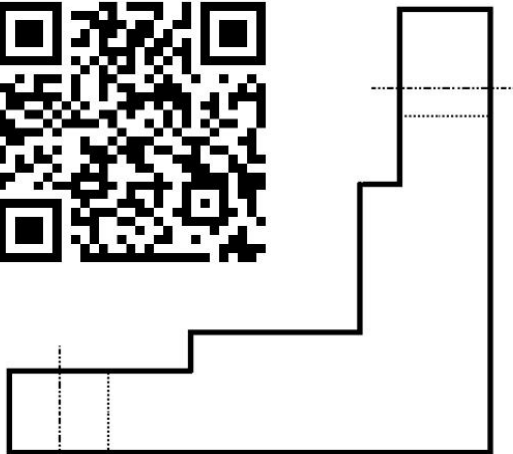
Tecnología II



Ejercicio 1



Escanear con Scope para activar en Realidad Aumentada

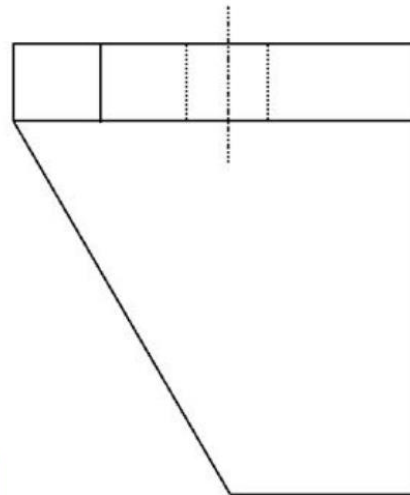
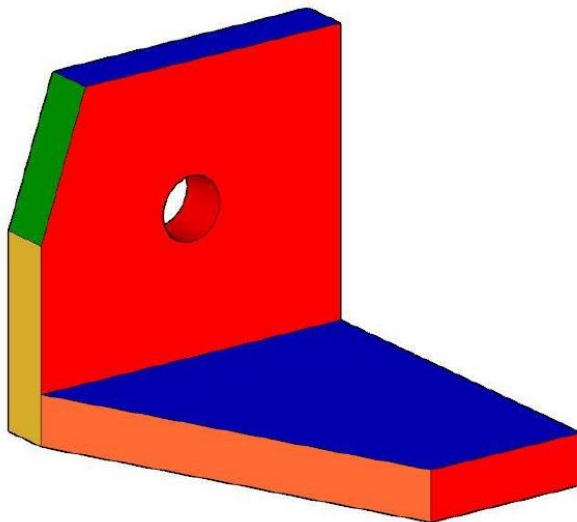
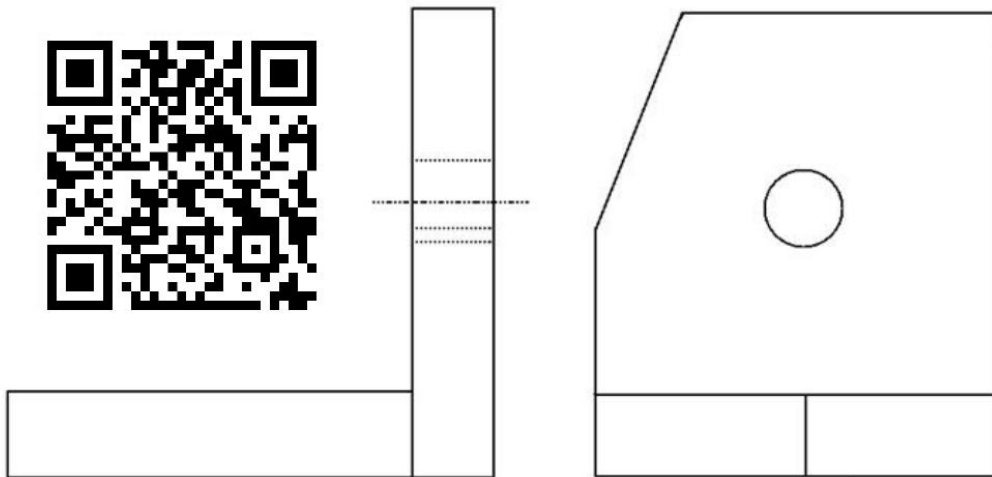




Ejercicio 2



Escanear con Scope para activar en Realidad Aumentada

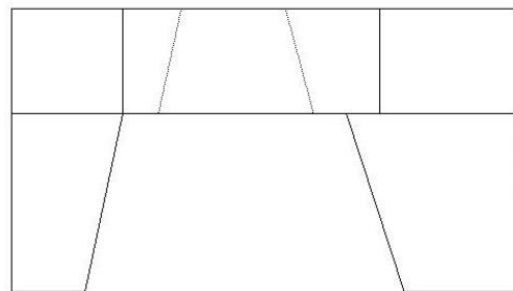
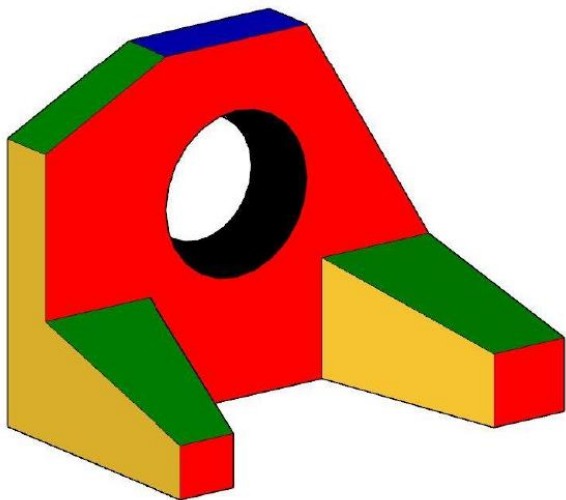
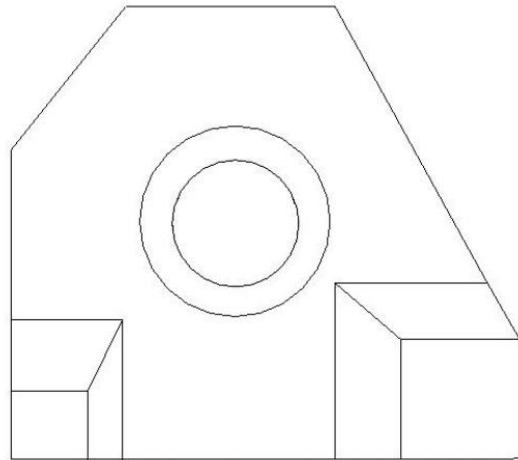
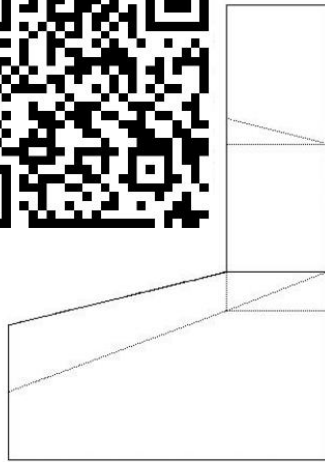




Ejercicio 3



Escanear con Scope para activar en Realidad Aumentada





REALIDAD AUMENTADA COMO HERRAMIENTA DE APOYO EN LA ENSEÑANZA DE MÁQUINAS TÉRMICAS MOTORAS



MORALES MÉNDEZ, Ginés ⁽¹⁾
DEL CERRO VELÁZQUEZ, Francisco ⁽²⁾

ginés.morales@um.es
⁽¹⁾Universidad de Murcia, Escuela Internacional de Doctorado, Profesor de Educación Secundaria
⁽²⁾Universidad de Murcia, Facultad de Química, Departamento de Electromagnetismo y Electrónica

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En el presente estudio, se presenta la tecnología de Realidad Aumentada (RA) como herramienta educativa para el aprendizaje de la ingeniería, en concreto de las máquinas térmicas. La RA permite enriquecer el aprendizaje de contenidos teóricos con una alta carga visuo-espacial con contenidos digitales con los que los usuarios puedan interactuar y tener acceso a información contextual en diferentes formas. Los autores ilustran la metodología de elaboración de recursos didácticos en RA diseñando diferentes modelos y partes tridimensionales de máquinas térmicas motoras. Como maquinaria pesada que son los motores térmicos, la gran mayoría de aulas de enseñanza no disponen de maquetas o modelos en los que apoyar o complementar los fundamentos teóricos para su estudio y aprendizaje. A través del binomio RA-dispositivos móviles (Del Cerro y Morales, 2018) pueden integrarse eficientemente todo tipo de material o recurso capaz de ser digitalizado en cualquier aula como recursos educativos interactivos en 3D de acceso rápido.

MÉTODO DE TRABAJO

¿Cómo diseñar modelos 3D en RA?

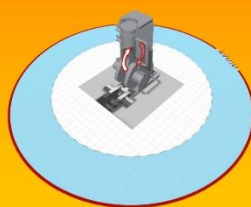
1º. Diseño en 3D del objeto

Software Asistido por Ordenador CAD



2º. Exportar a RA

Kit de Desarrollo de Software SDK



3º. Visualizar en RA

Software Escáner de RA



Póster Aumentado

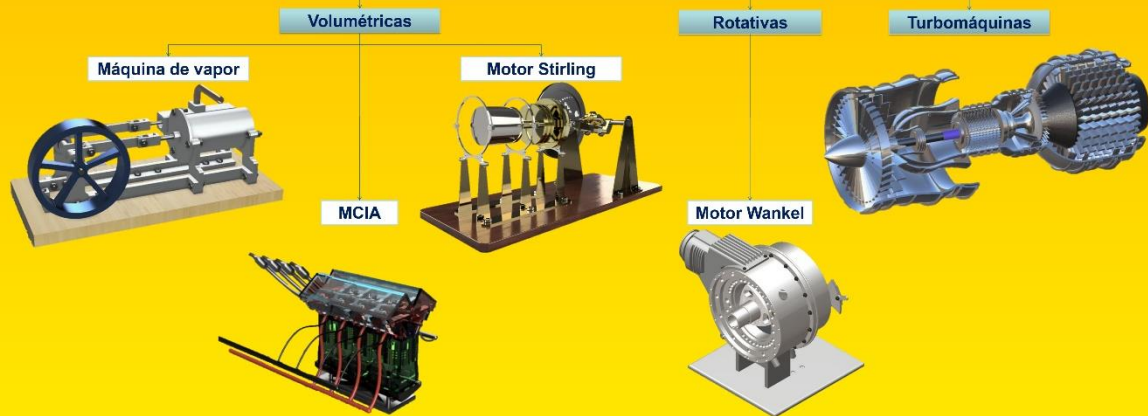
Para que el usuario tenga interacción total con el contenido del póster y pueda acceder a información digital adicional (fotografías, vídeos, modelos en 3D...), se recomienda disponer un smartphone o tablet, descargar la app "Scope" y escanear la imagen del motor de combustión interna (Fig 1.).



Figura 1. Marca activadora. Escanear con Scope.

RESULTADOS

Clasificación de Máquinas Térmicas Motoras



CONCLUSIONES

Podemos concluir, que la RA permite reemplazar los recursos físicos por objetos virtuales, lo que permite entender que nos encontramos ante una estrategia educativa con una gran potencialidad para mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje en los próximos años en cualquier área y, fundamentalmente, en todos los contenidos y recursos que requieran un uso elevado de la inteligencia visuoespacial para su comprensión y aprendizaje, como son las áreas de aprendizaje STEM Science, Technology, Engineering and Maths. Son varias, las investigaciones que han obtenido como resultado que la integración de tecnología RA mediante una didáctica interactiva, favorece el desarrollo de la inteligencia espacial, la orientación espacial, las habilidades espaciales de la persona y la comprensión visual de los objetos y contextos (Cabero y Fernández, 2018).

Cabe destacar, el papel relevante de las TIC como estrategia en el desarrollo sostenible de la sociedad actual en pro de calidad y la pertinencia del aprendizaje. Para ello, debe de priorizarse el acceso inclusivo a los dispositivos y recursos digitales, especialmente a través de Recursos Educativos Abiertos (REA) como los materiales aumentados elaborados para esta investigación. En este sentido, las administraciones educativas deben apoyar la investigación y los estudios piloto para aprovechar las tecnologías emergentes como la RA, con el fin de transformar los sistemas educativos, equiparar el acceso a las oportunidades de aprendizaje y facilitar una prestación de servicios de aprendizaje interactivo, individualizado y adaptado. No obviamos la dificultad que conlleva para gran parte del profesorado el diseño y producción de materiales aumentados, probablemente por la falta de formación inicial en aplicaciones prácticas en el aula con las TIC, cuestión que también deben incluir las administraciones educativas en sus planes de formación.

Referencias

DEL CERRO VELÁZQUEZ, F., MORALES MÉNDEZ, G. *Augmented Reality and Mobile Devices: A Binominal Methodological Resource for Inclusive Education (SDG 4): An Example in Secondary Education.* Revista Sustainability 2018, 10, 3446.
CABERO ALMENARA, J., FERNÁNDEZ ROBLES, B. *Las tecnologías digitales emergentes entran en la Universidad: RA y RV.* Revista Iberoamericana de Educación a Distancia 2018, 21(2), pp. 119-138.



5.10. ENERGÍA EÓLICA

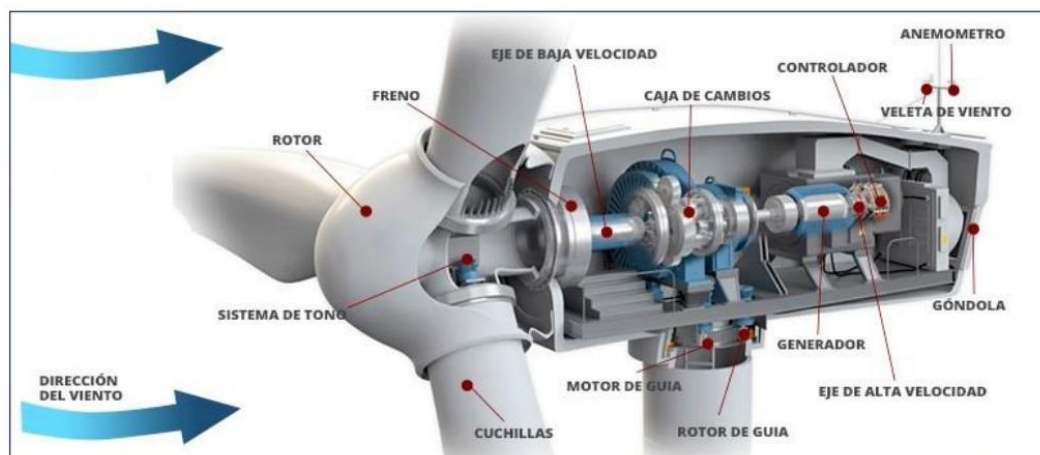
Es la energía producida por el viento. Su utilización a lo largo de la historia de la humanidad en los molinos de viento o en los barcos de vela nos da idea de su importancia en tiempos pasados.

En la actualidad, el aprovechamiento de la energía eólica se centra en el bombeo de agua de pozos y en la producción de energía eléctrica. La producción de energía eléctrica a partir de la fuerza del viento se realiza en las **centrales eólicas**. Estas instalaciones están formadas por un conjunto de **aerogeneradores** o molinos de viento.



Parque eólico Ascoy I (Cieza) [RA aerogenerador 3D]

Escanéame

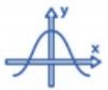


Interior aerogenerador [RA funcionamiento aerogenerador terrestre]

Escanéame

Cuando el viento mueve las **palas** del aerogenerador, se produce un movimiento de rotación en el eje de la **turbina**. Un **sistema de transmisión** multiplica las vueltas del eje y, a la vez, transmite el movimiento de giro al eje del **alternador**, que genera energía eléctrica.

El aerogenerador, que está situado a una cierta altura del suelo, soportado por una **torre**, ha de estar constantemente orientado en dirección perpendicular al viento, esto se consigue a través de un **sistema de orientación**.



3. Representa las funciones propuestas y comprueba los resultados con Geogebra AR:

- a. $f(x) = 3x + 1$
- b. $f(x) = -\frac{1}{2}x + 3$
- c. $f(x) = -4x - 2$

a. $y = 3x + 1$

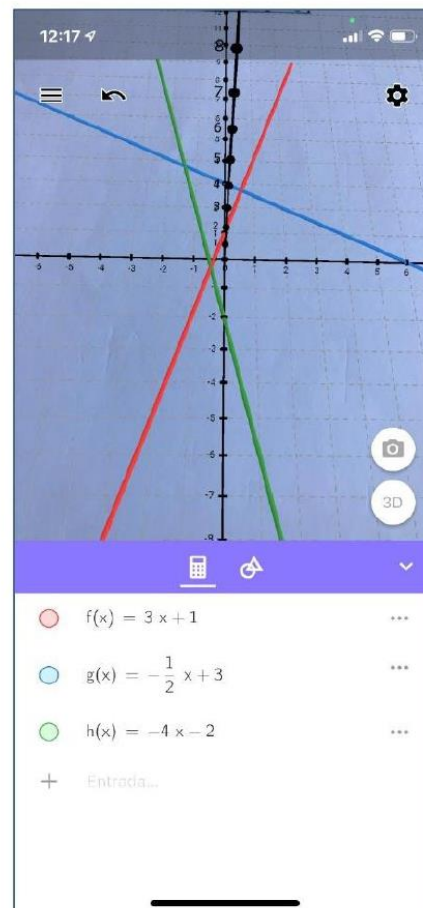
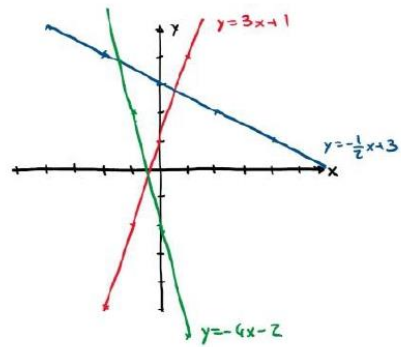
x	-2	-1	0	1	2
y	-5	-2	1	4	7

b. $y = -\frac{1}{2}x + 3$

x	-4	-2	0	2	4
y	5	4	3	2	1

c. $y = -4x - 2$

x	-2	-1	0	1	2
y	6	2	-2	-6	-10





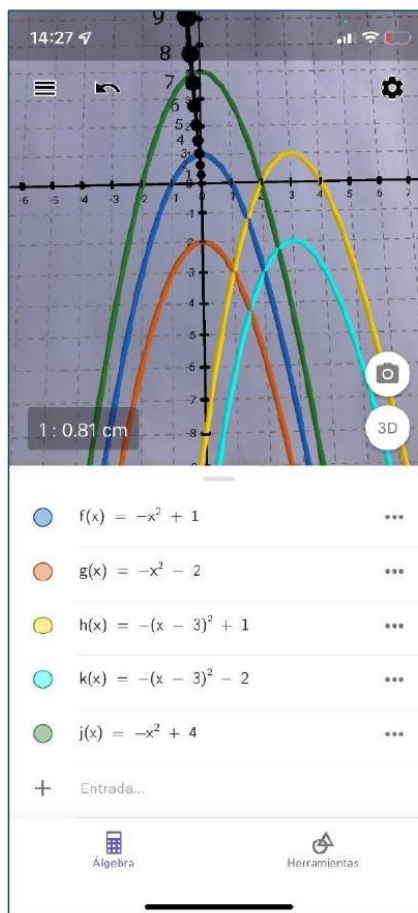
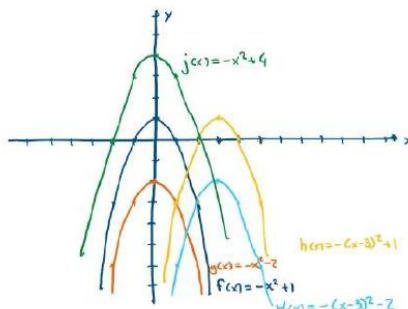
12. Representa la función $f(x) = -x^2 + 1$. A partir de ella traza las siguientes funciones y analiza el resultado con Geogebra AR:

- a. $g(x) = -x^2 - 2$
- b. $h(x) = -(x - 3)^2 + 1$
- c. $k(x) = -(x - 3)^2 - 2$
- d. $j(x) = -x^2 + 4$

$f(x) = -x^2 + 1$

x	-2	-1	0	1	2
y	-3	0	1	0	-3

- a. $g(x) = -x^2 - 2$ "2u ↓"
- b. $h(x) = -(x-3)^2 + 1$ "3u →"
- c. $k(x) = -(x-3)^2 - 2$ "3u →", "2u ↓"
- d. $j(x) = -x^2 + 4$ "4u ↑"





25• Representa gráficamente las siguientes funciones exponenciales, comprueba y analiza los resultados con Geogebra AR.

- a. $f(x) = x^0$
- b. $f(x) = x$
- c. $f(x) = x^2$
- d. $f(x) = x^3$

a. $f(x) = x^0$

x	-2	-1	0	1	2
y	1	1	1	1	1

b. $f(x) = x$

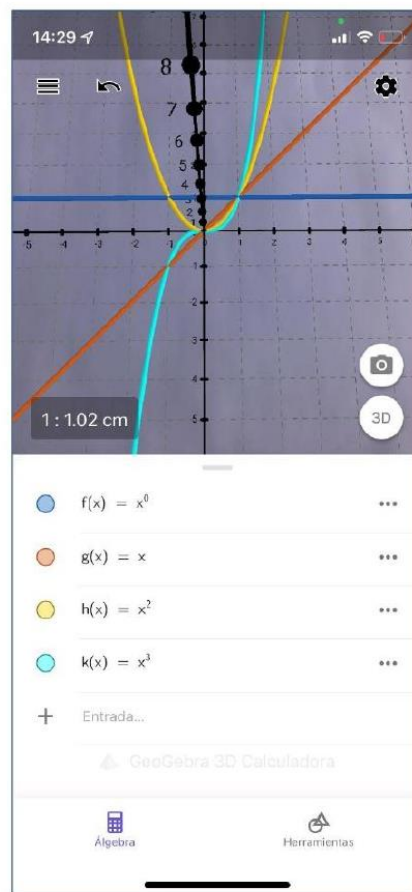
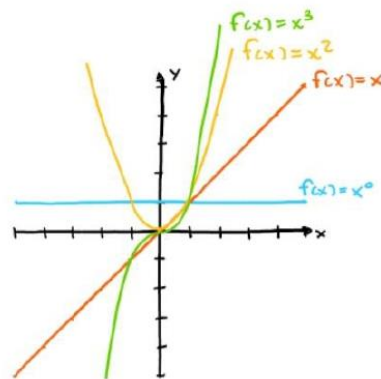
x	-2	-1	0	1	2
y	-2	-1	0	1	2

c. $f(x) = x^2$

x	-2	-1	0	1	2
y	4	1	0	1	4

d. $f(x) = x^3$

x	-2	-1	0	1	2
y	-8	-1	0	1	8





34. A partir de la gráfica de la función de proporcionalidad inversa: $f(x) = \frac{4}{x}$

Representa las funciones $g(x) = \frac{4}{x-1}$, $h(x) = \frac{4}{x} - 3$ e $i(x) = \frac{4}{x-1} - 3$

Comprueba y analiza los resultados con Geogebra AR.

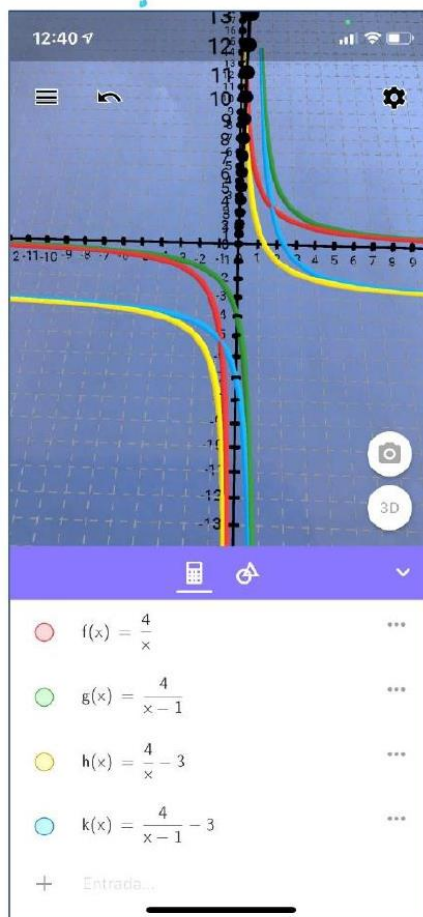
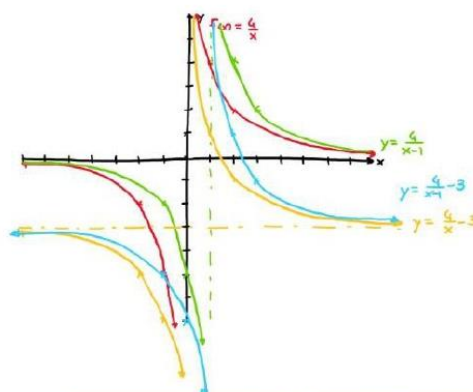
$$f(x) = \frac{4}{x}$$

x	-2	-1	1	2
y	-2	-4	4	2

$$g(x) = \frac{4}{x-1} \text{ "1 u. derecha"}$$

$$h(x) = \frac{4}{x} - 3 \text{ "3 u. abajo"}$$

$$i(x) = \frac{4}{x-1} - 3 \text{ "1 u. derecha" "3 u. abajo"}$$





46. Representa las siguientes funciones logarítmicas y realiza un estudio de su continuidad.

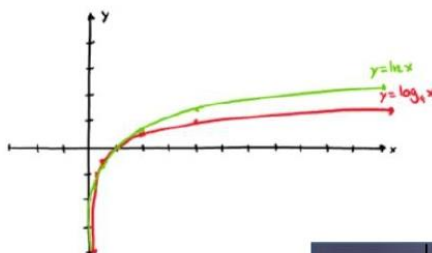
Comprueba los resultados con Geogebra AR:

- a. $f(x) = \log_4 x$
- b. $f(x) = \ln x$
- c. $f(x) = \log_{\frac{1}{4}} x$
- d. $f(x) = \log_{0,1} x$

a. $f(x) = \log_4(x)$

x	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	2	4
y	-1	-0,5	0	0,5	1

$D(f) = (0, +\infty)$
 $R(f) = (-\infty, +\infty) = \mathbb{R}$
 (creciente) $= (0, +\infty)$



b. $f(x) = \ln(x)$

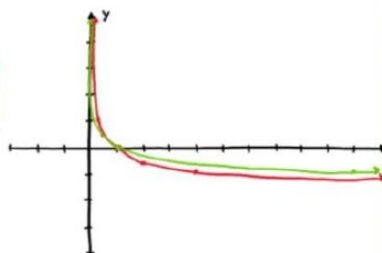
x	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	2	4
y	-1,4	-0,7	0	0,7	1,4

$D(f) = (0, +\infty)$
 $R(f) = (-\infty, +\infty) = \mathbb{R}$
 (creciente) $= (0, +\infty)$

c. $f(x) = \log_{\frac{1}{4}}(x)$

x	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	2	4
y	1	0,5	0	-0,5	-1

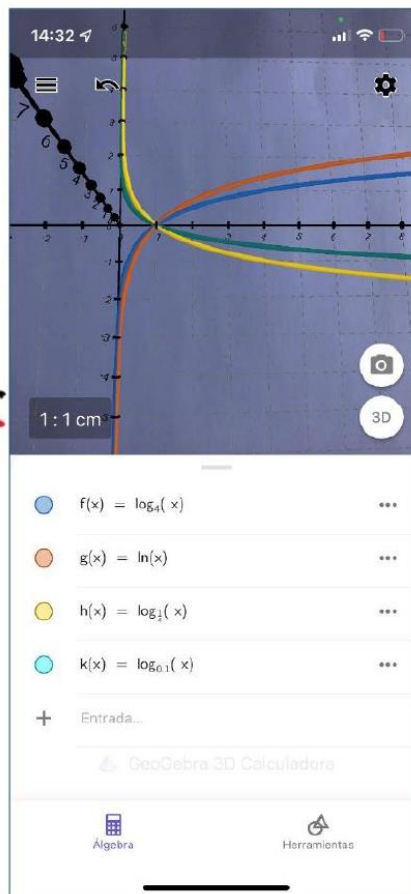
$D(f) = (0, +\infty)$
 $R(f) = (-\infty, +\infty) = \mathbb{R}$
 (decreciente) $= (0, +\infty)$



d. $f(x) = \log_{0,1}(x)$

x	0,1	1	10
y	1	0	-1

$D(f) = (0, +\infty)$
 $R(f) = (-\infty, +\infty)$
 (decreciente) $= (0, +\infty)$





49. A través de esta actividad vamos a trabajar con la interfaz dinámica de Geogebra AR para resolver un sistema de ecuaciones a través de su análisis gráfico. Definimos un sistema de ecuaciones 2x2 como:

$$\begin{cases} a_1x + b_1y = c_1 \\ a_2x + b_2y = c_2 \end{cases}$$

a. Introduce en Geogebra AR el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{cases} x + 3y = 5 \\ 2x - y = -4 \end{cases}$$

b. Visualiza la representación gráfica del sistema de ecuaciones y complementa los huecos:

1. En la gráfica las rectas son _____.
2. La intersección de las dos rectas es el _____ de coordenadas _____. Es decir que $x = \underline{\hspace{1cm}}$, $y = \underline{\hspace{1cm}}$ que es una _____.
3. Cuando tenemos un sistema de ecuaciones con solución única, el sistema es constante y _____ de las dos rectas.

c. Experimenta y cambia los valores de los coeficientes de las ecuaciones. Por ejemplo: asigna $a_2 = 2, b_2 = 3, c_2 = 1$. Identifica la solución del nuevo sistema de ecuaciones $A(\underline{\hspace{1cm}}, \underline{\hspace{1cm}})$.

d. ¿Qué ocurre cuando los coeficientes de las ecuaciones son $a_2 = 2, b_2 = 6, c_2 = 10$. ¿Cómo son las rectas?

e. Asigna $a_2 = -4, b_2 = -12, c_2 = -20$. ¿Qué ocurre?

f. Según lo observado ¿cuáles son las soluciones de un sistema de ecuaciones?
 Sistemas compatibles: _____
 Sistemas incompatibles: _____
 Infinitas soluciones: _____

