



Trabajo de fin de máster

Título: Valoración de la idoneidad de la herramienta de Realidad Aumentada *Merge Cube* como recurso didáctico en el aula de Tecnología.

Apellidos: Calcerrada García
Nombre: Eduardo
Titulación: Máster en Formación del Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas
Especialidad: Tecnología

Director/a: Sofía Seinfeld Tarafa
Co-Director/a: Antoni Hernández Fernández
Lectura: 14 de junio de 2022

Resumen

Actualmente, la Realidad Aumentada es una tecnología que viene siendo utilizada ampliamente en ámbito educativo y su empleo se está consolidando progresivamente. Sin embargo, muchos de los recursos aplicados en el aula no han sido concebidos específicamente para la enseñanza, o para un encaje curricular determinado. Por ello, suele ser tarea del profesor la elaboración de propuestas didácticas concretas que integren estos recursos con el material educativo del curso.

Con el objetivo de ayudar a los profesores de Enseñanza Secundaria Obligatoria (ESO) en esta tarea, el presente trabajo pretende llevar a cabo una valoración de la idoneidad de la herramienta de Realidad Aumentada *Merge Cube* como recurso didáctico en el aula de Tecnología. En concreto, se analizará su aplicabilidad para la unidad *Máquinas y mecanismos* de la materia de *Tecnología y digitalización* de la LOMLOE, para tercero de ESO.

Palabras clave: Realidad Aumentada, *Merge Cube*, Máquinas y mecanismos, Enseñanza de la tecnología, LOMLOE, Tecnología y digitalización.

Abstract

Currently, Augmented Reality is a technology that is being widely used in education and its use is being progressively consolidated. However, many of the resources applied in the classroom have not been specifically designed for teaching, or to be used as part of a specific curriculum. Therefore, it is usually the teacher's task to develop specific didactic proposals that integrate these resources with the educational material of the course.

In order to help teachers of Compulsory Secondary Education (*Enseñanza Secundaria Obligatoria*, ESO) in this task, this paper aims to carry out an assessment of the suitability of the Augmented Reality tool Merge Cube as a teaching resource in the Technology classroom. Specifically, its applicability will be analyzed for the unit *Machines and mechanisms* of the subject *Technology and digitization* of the LOMLOE, for third year of ESO.

Keywords: Augmented Reality, Merge Cube, Machines and Mechanisms, Technology education, LOMLOE, Technology and digitization.

Resum

Actualment, la Realitat Augmentada és una tecnologia que s'utilitza àmpliament en àmbit educatiu i el seu ús s'està consolidant progressivament. No obstant això, molts dels recursos aplicats a l'aula no han estat concebuts específicament per a l'ensenyament, o per a un encaix curricular determinat. Per això, sol ser tasca del professor l'elaboració de propostes didàctiques concretes que integrin aquests recursos amb el material educatiu del curs.

Amb l'objectiu d'ajudar als professors d'Ensenyament Secundari Obligatori (ESO) en aquesta tasca, el present treball pretén dur a terme una valoració de la idoneïtat de l'eina de Realitat Augmentada *Merge Cube* com a recurs didàctic a l'aula de Tecnologia. En concret, s'analitzarà la seva aplicabilitat per a la unitat *Màquines i mecanismes* de la matèria de *Tecnologia i digitalització* de la LOMLOE, per a tercer d'ESO.

Paraules clau: Realitat Augmentada, *Merge Cube*, Màquines i mecanismes, Ensenyament de la tecnologia, LOMLOE, Tecnologia i digitalització.

Índice

Resumen	I
Abstract	II
Resum	III
Índice	IV
Índice de ilustraciones	VI
Índice de tablas	VIII
1. Introducción	1
2. Qué es la Realidad Aumentada	3
2.1. Tipos de herramientas de RA	4
2.1.1. Herramientas de RA basadas en marcadores	4
2.1.2. Herramientas de RA sin marcadores	5
2.1.3. Herramientas de RA basadas en la ubicación	5
2.2. Historia y desarrollo de la RV y la RA	6
2.3. Evaluación del desarrollo de la RA en base al <i>Hype Cycle</i> de Gartner	10
2.4. Empleo de la RA en la educación	12
2.4.1. Idoneidad de la RA como herramienta educativa	12
2.4.2. Implantación de la RA en el ámbito educativo	12
2.4.3. Relación de la RA con los enfoques pedagógicos y las metodologías educativas	22
2.4.4. Implementación de la tecnología de RA en la educación	30
2.4.5. Evaluación de las actividades didácticas basadas en RA	32
2.4.6. Beneficios de las aplicaciones de RA en la educación	35
2.4.7. Inconvenientes de las aplicaciones de RA en la educación	38
2.4.8. Retos de las aplicaciones de RA en la educación	40
3. <i>Merge Cube</i>	41
3.1. Integración de <i>Merge Cube</i> con otras plataformas y aplicaciones	42
3.2. Evaluación del empleo de <i>Merge Cube</i> en la didáctica	43
3.3. La elección de <i>Merge Cube</i> para el presente trabajo	43
4. Valoración de la idoneidad de <i>Merge Cube</i> como herramienta didáctica en el aula de Tecnología	44
4.1. Propuesta didáctica	44
4.1.1. Marco teórico. Teoría del aprendizaje y metodología	44
4.1.2. Marco legislativo y curricular	47
4.1.3. Actividades didácticas	47
4.1.4. Evaluación	49
4.2. Diseño experimental	49
4.2.1. Planteamiento	49
4.2.2. Muestreo	50
4.2.3. Procedimiento	51
4.2.4. Resultados	52
5. Conclusiones	53

Bibliografía	55
Anexo I. Marco legislativo y curricular	59
Anexo II. Fichas de las actividades didácticas	61
Anexo III. Rúbricas de evaluación de las actividades didácticas	74
Anexo IV. Prueba de evaluación pretest-postest	76

Índice de ilustraciones

Figura 2-1: Continuo de la Virtualidad. (Fuente: CreatXR, 2020)	3
Figura 2-2: Flujo de trabajo de una aplicación de RA basada en marcadores. (Fuente: Wagner et al., 2007)	4
Figura 2-3: Ejemplo de herramienta de RA sin marcadores. (Fuente: Bhattacharjee, 2019).....	5
Figura 2-4: Ejemplo de herramienta de RA basada en la ubicación. (Fuente: BSEtec, 2018).....	5
Figura 2-5: El <i>Sensorama</i> de Morton L. Heilig. (Fuente: Mapping Motion, 2018)	6
Figura 2-6: La <i>Telesphere Mask</i> de Morton L. Heilig. (Fuente: Mapping Motion, 2018)	6
Figura 2-7: El dispositivo <i>Espada de Damocles</i> de Ivan Sutherland. (Fuente: Sutherland, 1968).....	7
Figura 2-8: Dispositivo montado en la cabeza para la empresa Boeing. (Fuente: Caudell & Mizell, 1992).....	8
Figura 2-9: Virtual Boy de Nintendo. (Fuente: canalrcn.com)	8
Figura 2-10: Oculus Rift Development Kit 1. (Fuente: oculus.com)	9
Figura 2-11: Evolución de la RA en el <i>Hype Cycle</i> de Gartner. (Fuente: Herdina, 2020).....	11
Figura 2-12: Estudios anuales de RA en ámbito educativo. 2012-2018. (Fuente: Garzón et al., 2019)	13
Figura 2-13: Estudios anuales de RA en ámbito educativo. 2007-2015. (Fuente: Akçayır & Akçayır, 2017).....	13
Figura 2-14: Empleo de dispositivos de RA en ámbito educativo. (Fuente: Akçayır & Akçayır, 2017)	14
Figura 2-15: Estudios anuales de RA en ámbito educativo. (Fuente: Avila-Garzon et al., 2021)	14
Figura 2-16: Estudios por países de RA en ámbito educativo (A). (Fuente: Avila-Garzon et al., 2021)	15
Figura 2-17: Estudios por países de RA en ámbito educativo (B). (Fuente: Avila-Garzon et al., 2021).....	15
Figura 2-18: Estudios de RA en ámbito educativo por países y años. (Fuente: Avila-Garzon et al., 2021)	16
Figura 2-19: Autores de RA en ámbito educativo por año (A). (Fuente: Avila-Garzon et al., 2021)	16
Figura 2-20: Autores de RA en ámbito educativo por año (B). (Fuente: Avila-Garzon et al., 2021).....	17
Figura 2-21: Citas conjuntas de autores de RA en ámbito educativo (A). (Fuente: Avila-Garzon et al., 2021)..	17
Figura 2-22: Citas conjuntas de autores de RA en ámbito educativo (B). (Fuente: Avila-Garzon et al., 2021)..	18
Figura 2-23: Estudios de RA en ámbito STEM. (Fuente, Mystakidis et al., 2021).....	18
Figura 2-24: Estudios de RA en ámbito STEM por área de aprendizaje. (Fuente, Mystakidis et al., 2021).....	19
Figura 2-25: Dispositivos de RA utilizados en cada ámbito STEM. (Fuente, Mystakidis et al., 2021).....	19
Figura 2-26: Herramientas de RA utilizadas en cada ámbito STEM. (Fuente, Mystakidis et al., 2021)	20
Figura 2-27: Objetos de aplicación de RA utilizados en cada ámbito STEM. (Fuente, Mystakidis et al., 2021) 20	
Figura 2-28: Técnicas de RA utilizadas con cada objeto de aplicación. (Fuente, Mystakidis et al., 2021)	21
Figura 2-29: Herramientas de RA utilizadas con cada técnica de aumento. (Fuente, Mystakidis et al., 2021) .	21
Figura 2-30: Niveles educativos objeto de investigación sobre RA. (Fuente: Akçayır & Akçayır, 2017)	22
Figura 2-31: Estrategias educativas respaldadas por RA. (Fuente: Mystakidis et al., 2021).....	27
Figura 2-32: Estrategias educativas respaldadas por RA por ámbito STEM. (Fuente: Mystakidis et al., 2021)..	27
Figura 2-33: Técnicas de instrucción respaldadas por RA. (Fuente: Mystakidis et al., 2021)	28
Figura 2-34: Técnicas de instrucción respaldadas por RA por ámbito STEM. (Fuente: Mystakidis et al., 2021)29	
Figura 2-35: Estrategias educativas y técnicas de instrucción. (Fuente: Mystakidis et al., 2021).....	29
Figura 2-36: Estrategias educativas y técnicas de instrucción en STEM. (Fuente: Mystakidis et al., 2021)	30
Figura 2-37: Evaluación de actividades didácticas basadas en RA (Fuente: Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018)...	32
Figura 2-38: Evaluación emocional durante el aprendizaje con RA (Fuente: Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018).33	
Figura 3-1: Un modelo de <i>Merge Cube</i> construido con cartulina. (Fuente: elaboración propia)	41
Figura 3-2: Empleo de <i>Merge Cube</i> con la aplicación <i>Object Viewer</i> . (Fuente: elaboración propia)	42
Figura 3-3: Dispositivo de RV Merge Headset. (Fuente: mergeedu.com)	42
Figura 4-1: Ficha de actividades basadas en <i>Merge Cube</i> . (Fuente: elaboración propia).....	48
Figura 4-2: Fases del diseño experimental. (Fuente: elaboración propia).....	52
Figura AII-0-1: Ficha 0. Montaje del <i>Merge Cube</i> . (Fuente: elaboración propia).....	61
Figura AII-0-2: Ficha 1. Palanca de leva. (Fuente: elaboración propia).....	62
Figura AII-0-3: Ficha 2. Mecanismo de paralelogramo. (Fuente: elaboración propia).....	63

Figura AII-0-4: Ficha 3. Mecanismo de movimiento oscilatorio. (Fuente: elaboración propia).	64
Figura AII-0-5: Ficha 4. Abrazadera de palanca. (Fuente: elaboración propia)	65
Figura AII-0-6: Ficha 5. Caja de engranajes. (Fuente: elaboración propia)	66
Figura AII-0-7: Ficha 6. Pistón de motor de combustión. (Fuente: elaboración propia)	67
Figura AII-0-8: Ficha 7. Pinzas de agarre. (Fuente: elaboración propia)	68
Figura AII-0-9: Ficha 8. Mecanismo rotatorio oscilante. (Fuente: elaboración propia).....	69
Figura AII-0-10: Ficha 9. Escape de palanca. (Fuente: elaboración propia).	70
Figura AII-0-11: Ficha 10. Motor Stirling. (Fuente: elaboración propia)	71
Figura AII-0-12: Ficha 11. Motor neumático de diafragma. (Fuente: elaboración propia).....	72
Figura AII-0-13: Ficha 12. Engranajes Nautilus. (Fuente: elaboración propia).....	73

Índice de tablas

Tabla 2-1: Beneficios de la RA en la educación. (Fuente: Garzón et al., 2019)	36
Tabla 2-2: Inconvenientes de la RA en la educación. (Fuente: Garzón et al., 2019).....	38
Tabla 4-1: Objetivos de aprendizaje de las actividades de RA propuestas. (Fuente: elaboración propia).....	48
Tabla 4-2: Relación entre Objetivos de aprendizaje y Criterios de evaluación. (Fuente: elaboración propia). 49	
Tabla 4-3: Recursos empleados en el estudio experimental. (Fuente: elaboración propia).	50
Tabla AI-0-1: Contenidos de la UD Máquinas y mecanismos de 3º de ESO. (Fuente: elaboración propia).	59
Tabla AI-0-2: Competencias específicas dentro del marco LOMLOE. (Fuente: Real Decreto 217, 2022).....	59
Tabla AI-0-3: Perfiles de salida dentro del marco LOMLOE. (Fuente: Real Decreto 217, 2022).	60
Tabla AI-0-4: Criterios de evaluación dentro del marco LOMLOE. (Fuente: Real Decreto 217, 2022).....	60
Tabla AIII-0-1: Rúbrica de evaluación de la Actividad 1. (Fuente: elaboración propia).....	74
Tabla AIII-0-2: Rúbrica de evaluación de la Actividad 2. (Fuente: elaboración propia).....	75
Tabla AIII-0-3: Rúbrica de evaluación de la Actividad 3. (Fuente: elaboración propia).....	75
Tabla AIV-0-1: Prueba de evaluación pretest-postest. (Fuente: elaboración propia).	76

1. Introducción

Hoy en día, la Realidad Aumentada (RA) es una tecnología que se utiliza ampliamente en entornos educativos (Akçayır & Akçayır, 2017; Garzón et al., 2019; Avila-Garzon et al., 2021; Mystakidis et al., 2021), y su idoneidad como herramienta educativa está altamente contrastada (Kairu, 2021). Esto se debe, entre otros motivos, a que ya no requiere un hardware costoso ni equipos sofisticados, como sucedía en el pasado, o dispositivos voluminosos ubicados en la cabeza, como pasa en la actualidad con la Realidad Virtual (RV). Actualmente, esta tecnología se puede usar con ordenadores de sobremesa o portátiles o por medio de dispositivos móviles como teléfonos inteligentes y tabletas, y en el futuro se espera tener acceso a ella por medio de gafas ultraligeras como las Hololens o las Snapchat. Forma parte de los recursos educativos de todos los niveles de escolarización (Educación Infantil, Primaria, Secundaria y Universitaria). Ha obtenido el reconocimiento como una de las tecnologías más prometedoras para la educación por parte del New Media Consortium (www.nmc.org) y de la Educause Learning Initiative (www.educause.edu). Según Gartner, una firma de investigación de tecnologías de la información, la RA ha madurado tan rápidamente que ya ni siquiera puede considerarse una tecnología emergente (Herdina, 2020).

Los beneficios de las aplicaciones de RA en la educación son múltiples (Saltan & Arslan, 2017; Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018; Pellas et al., 2019a; Garzón et al., 2019). De entre ellos, destacan la mejora de la comprensión de la información; el aumento de los logros académicos; el incremento del interés, la atención, la motivación y la satisfacción; la autonomía del estudiante; su implicación, disfrute, y retención (aunque todavía es necesaria una mayor investigación de campo al respecto).

Sin embargo, la mayoría de los recursos de RA a disposición de los docentes no han sido concebidos y desarrollados teniendo en cuenta un encaje curricular concreto: no se basan en enfoques pedagógicos precisos, ni se aplican mediante metodologías apropiadas (Garzón et al., 2019). Es por ello, en general, tarea del profesor llevar a cabo la elaboración de propuestas didácticas específicas que integren estas herramientas con el material educativo del curso.

El presente trabajo se propone servir de ayuda a los profesores de Secundaria en este cometido. Concretamente, pretende llevar a cabo una valoración de la idoneidad de la herramienta de RA *Merge Cube* como recurso didáctico en el aula de Tecnología. En particular, se analizará su aplicabilidad para la unidad *Máquinas y mecanismos* de la materia de Tecnología y digitalización de la LOMLOE, para tercero de ESO.

En primer lugar, se presentará un estado del arte sobre la Realidad Aumentada, en general, y sobre su empleo en la educación, en particular. Se analizará brevemente su historia y desarrollo, su idoneidad como herramienta educativa, la implantación en ámbito escolar, el modo de relacionarse con diversos enfoques pedagógicos y metodologías educativas, así como los beneficios, limitaciones, inconvenientes y retos con los que cuenta en la actualidad. Seguidamente, se presentará la herramienta objeto de estudio: *Merge Cube*¹, que, como se verá, es un sencillo dispositivo con forma de cubo que permite implementar en el aula aplicaciones de RA. Se revisará su integración con diferentes plataformas y aplicaciones. Se analizará su empleo en la didáctica, y se justificará su elección como instrumento educativo. A continuación, se propondrá una actividad

¹ Para más información sobre *Merge Cube*:
<https://mergeedu.com/cube>

didáctica que integre *Merge Cube* con la unidad *Máquinas y mecanismos* de 3º de ESO. Se propondrá, después, un diseño experimental para comparar esta actividad con otras basadas en materiales correspondientes a los extremos del Continuo de la virtualidad (Milgram et al., 1994), como mecanismos reales basados en libros, vídeos 2D, etc. Para concluir, se presentarán los resultados del experimento y las conclusiones finales.

2. Qué es la Realidad Aumentada

Azuma (1997) definió la RA como la tecnología que permite a los usuarios ver una realidad suplementada a través de objetos virtuales superpuestos sobre el mundo real. Sin embargo, esta definición necesitaba ser ampliada teniendo en cuenta que la RA se puede aplicar a todos los sentidos, y no solo al de la vista. De esta forma, Akçayir & Akçayir (2017) propusieron una definición simple, precisa y amplia de RA como *la tecnología que permite superponer objetos virtuales en el mundo real, de manera que ambos coexisten en un mismo espacio*.

La RA se puede concebir como un entorno perceptivo en el que a los objetos del mundo real se les añade, o superpone, de manera interactiva y en tiempo real, un estrato de información virtual (en forma de textos, enlaces, imágenes, vídeos, objetos 3D, etc.) elaborado por un sistema informático. En general, este proceso se lleva a cabo mediante dispositivos móviles como teléfonos inteligentes, tabletas o gafas inteligentes (Mealy, 2018).

Hay tres características esenciales de los sistemas computacionales que implementan la RA: 1) combinar elementos virtuales con el entorno real; 2) interactividad y procesamiento en tiempo real, y 3) representación en tres dimensiones tanto del espacio real como virtual (Herpich et al., 2019).

El concepto de RA forma parte, junto a los de Virtualidad Aumentada y Realidad Virtual, de lo que Paul Milgram denominó en 1994 el *Continuo de la virtualidad* (Milgram et al., 1994), que es una escala utilizada para medir el grado de realidad o virtualidad de una tecnología. En un extremo de la escala se localiza lo que es completamente real y, en el otro, lo que es completamente virtual (Figura 2-1). En este planteamiento, las tres nociones de Realidad Aumentada, Virtualidad Aumentada y Realidad Virtual conforman lo que viene a llamarse la Realidad Extendida, que representa diferentes niveles de integración entre el entorno real y el virtual a lo largo del Continuo de la Virtualidad.

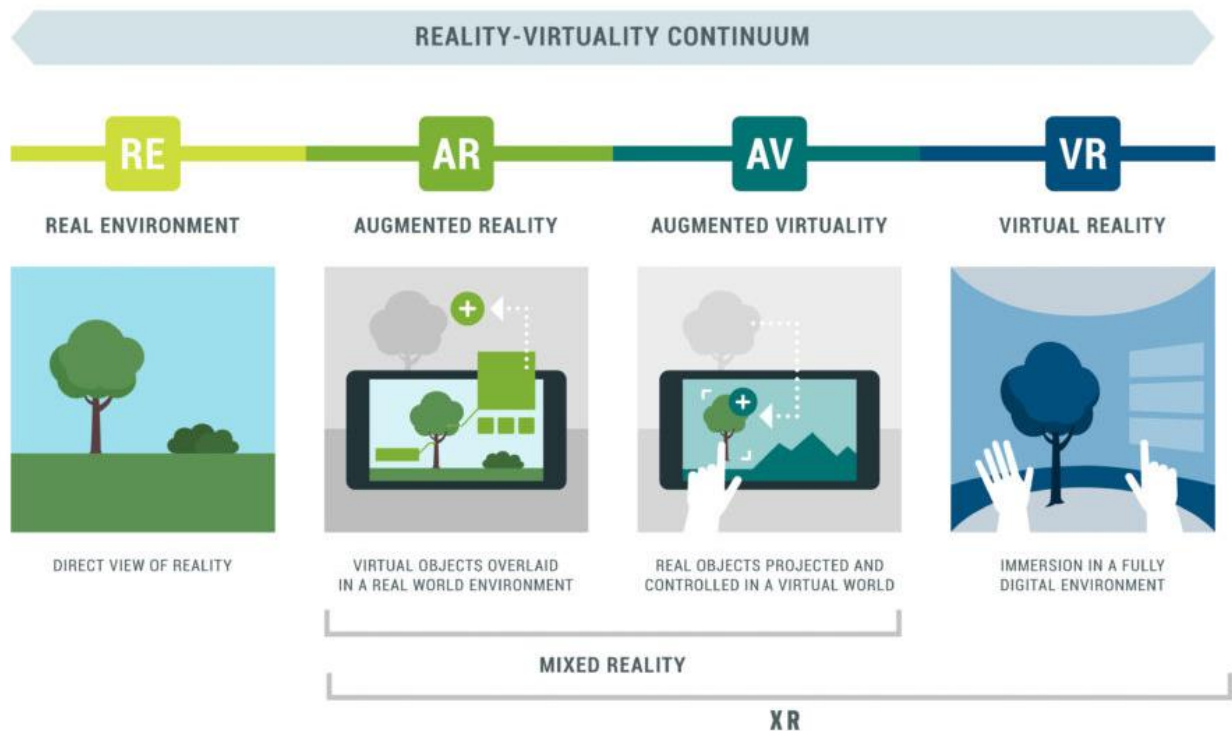


Figura 2-1: Continuo de la Virtualidad. (Fuente: CreatXR, 2020)

Concretamente, la Virtualidad Aumentada comprende entornos en los que elementos del mundo real vienen añadidos, o integrados, a escenarios virtuales, mientras que la Realidad Virtual representa entornos en los que se produce una inmersión completa en mundos virtuales creados a partir de una combinación de modelos tridimensionales, imágenes o videos 360°. Por su parte, la Realidad Mixta engloba todos los entornos que no son enteramente reales o virtuales (es decir, la RA y la Virtualidad Aumentada), sin cubrir el entero Continuo de la Virtualidad.

2.1. Tipos de herramientas de RA

Los diferentes tipos de herramientas de RA se clasifican en base a la clase de activador que utilizan. Un activador de RA es un mecanismo que pone en funcionamiento la generación de los elementos digitales interactivos que se añaden o superponen a los elementos del mundo real generando un entorno «aumentado». Los activadores más comunes en la RA son los basados en marcadores, los que no utilizan marcadores, y los basados en la ubicación (Aircards, 2021).

2.1.1. Herramientas de RA basadas en marcadores

En este tipo de herramientas, los marcadores utilizados son unas formas o imágenes distintivas y reconocibles de tal manera que la cámara del dispositivo empleado las pueda identificar correctamente en diferentes entornos. Se suelen utilizar como marcadores códigos QR, logotipos o envoltorios de productos (Aircards, 2021).

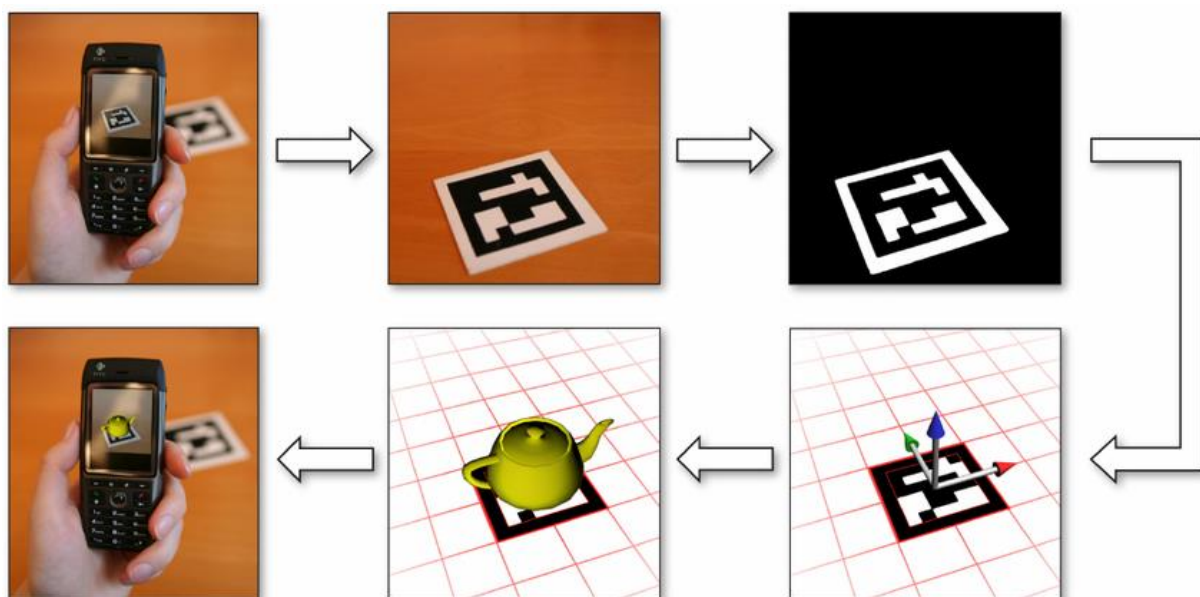


Figura 2-2: Flujo de trabajo de una aplicación de RA basada en marcadores. (Fuente: Wagner et al., 2007)

Estas herramientas tienen la limitación de que la experiencia de RA (es decir, la colocación de los elementos virtuales sobre los reales) está ligada a la ubicación de los marcadores. En general, los elementos virtuales se colocan sobre el marcador y se mueven sincronizados con él cuando este cambia de posición u orientación en el espacio (Figura 2-2). *Merge Cube*, como se verá más adelante, pertenece a esta categoría de herramientas.

2.1.2. Herramientas de RA sin marcadores

En este caso, los elementos virtuales se generan y posicionan en base a la geometría del objeto o ambiente real (procesada mediante un escaneado), y no a la presencia de marcadores sobre él (Figura 2-3). Este tipo de herramienta es muy utilizado en los juegos donde personajes virtuales vienen colocados en un entorno real. También se utiliza para recrear eventos en vivo sobre escenarios reales, y para colocar objetos virtuales promocionales en estands expositivos².

Las ventajas de las herramientas basadas en marcadores son que los usuarios no necesitan un conocimiento previo del entorno o de la ubicación de los marcadores para que se active la experiencia de Realidad Aumentada, lo que les permite tener un mayor rango de movimiento y compartir más fácilmente las experiencias con otros usuarios.



Figura 2-3: Ejemplo de herramienta de RA sin marcadores. (Fuente: Bhattacharjee, 2019)

2.1.3. Herramientas de RA basadas en la ubicación

La RA basada en la ubicación también se conoce como RA basada en GPS o Geo. En estas herramientas, los elementos virtuales se activan en función de la ubicación física del dispositivo. Son particularmente relevantes en los sectores de viajes y turismo (Figura 2-4). La herramienta de RA basada en la ubicación más conocida es *Google Maps*, en la que los usuarios pueden ver indicaciones colocadas a lo largo de su ruta de viaje, e información superpuesta a lugares de interés³.



Figura 2-4: Ejemplo de herramienta de RA basada en la ubicación. (Fuente: BSEtec, 2018)

² Para más información sobre herramientas de RA sin marcadores:
<https://www.marxentlabs.com/what-is-markerless-augmented-reality-dead-reckoning/>

³ Para más información sobre herramientas de RA basadas en la ubicación:
<https://www.cleveroad.com/blog/location-based-ar-apps-best-examples-and-guide-on-how-to-build>

2.2. Historia y desarrollo de la RV y la RA

En 1955, un director de fotografía llamado Morton Heilig, considerado el padre de la RV, imaginó un teatro multisensorial llamado «El cine del futuro» (Mealy, 2018). Heilig creó el *Sensorama* (Figura 2-5), una cabina mecánica de estilo arcade construida para estimular los sentidos, para el cual luego desarrolló una serie de cortometrajes. Incluía muchas de las características que prevalecen en los dispositivos de RV de hoy en día, como una pantalla 3D estereoscópica, altavoces estéreo y retroalimentación háptica a través de vibraciones en la silla del usuario (Mealy, 2018).

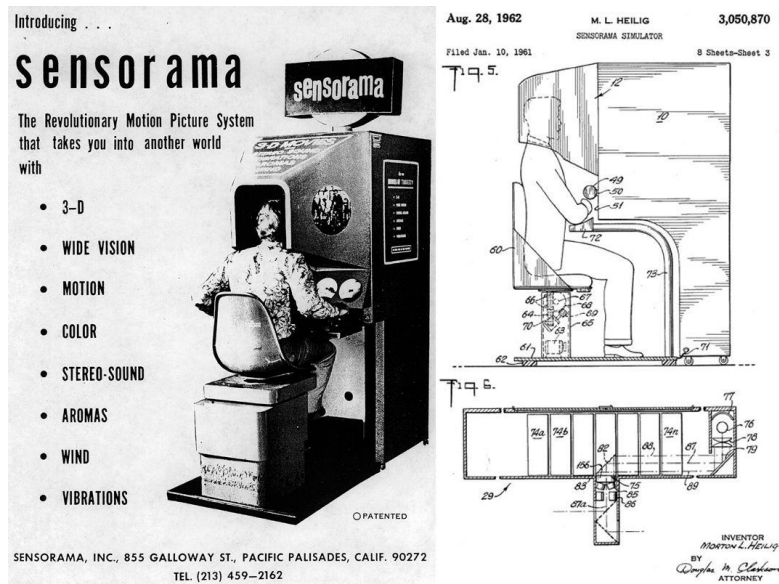


Figura 2-5: El *Sensorama* de Morton L. Heilig. (Fuente: Mapping Motion, 2018)

Poco después de inventar el *Sensorama*, Heilig también patentó la *Telesphere Mask* (Figura 2-6), el primer dispositivo montado en la cabeza (HMD, por sus siglas en inglés), que proporcionaba imágenes estereoscópicas en 3D y sonido estéreo, bastante similar a las gafas de RV actuales.

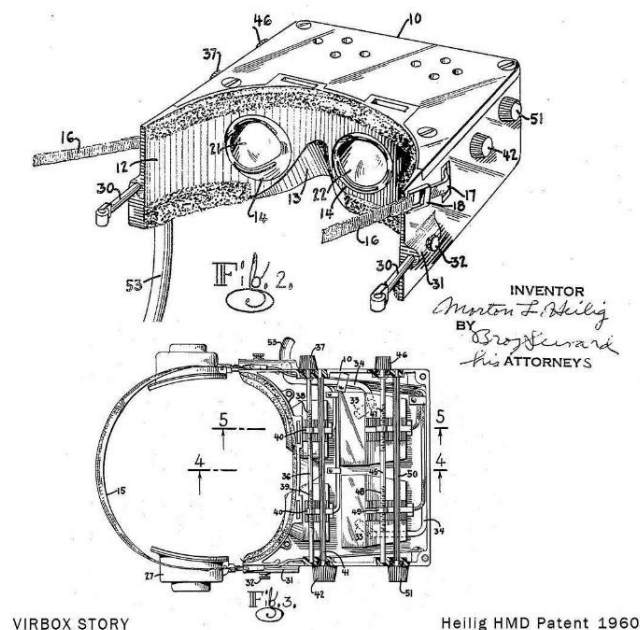


Figura 2-6: La *Telesphere Mask* de Morton L. Heilig. (Fuente: Mapping Motion, 2018)

Ivan Sutherland puede ser considerado uno de los principales pioneros de la RV. Antes de adentrarse en este campo, ya había inventado el primer sistema de interfaz gráfica por lápiz óptico (el *Sketchpad*), y realizado trabajos precursores en el ámbito de los gráficos generados por ordenador. En su trabajo postdoctoral (Sutherland, 1965), estableció las bases de un sistema computacional multisensorial, al que denominó *The Ultimate Display*, con el que pretendía conseguir una aproximación a conceptos no realizables en nuestro mundo físico.

Tres años más tarde, Sutherland desarrolló este planteamiento teórico con la creación de lo que puede ser considerado el primer casco de RV, dotado de un sistema de detección de la orientación a través del punto de vista del usuario. Lo llamó la *Espada de Damocles* (Figura 2-7), y consistía en un visor compuesto por dos pequeñas pantallas (CRT) con un soporte que se ajustaba a la cabeza, y un brazo mecánico, fijado al techo, dotado de unas articulaciones con potenciómetros que medían los movimientos y los cambios de orientación del usuario. Esta información era enviada al ordenador con el objetivo de modificar la orientación del punto de vista dentro del entorno geométrico definido por los objetos, generando imágenes de objetos en tres dimensiones que eran enviadas a las pantallas del visor (Sutherland, 1968). El autor, años más tarde, lo recordaba así ⁴: «Estaba dando clases en Harvard y visité la *Bell Helicopter*. Tenían unos cascos para poder ver en infrarrojo, gracias a una camarita que había en el techo. Se me ocurrió que podían sustituir la cámara por un ordenador y fabricar un mundo sintético que reprodujese un tipo de realidad».

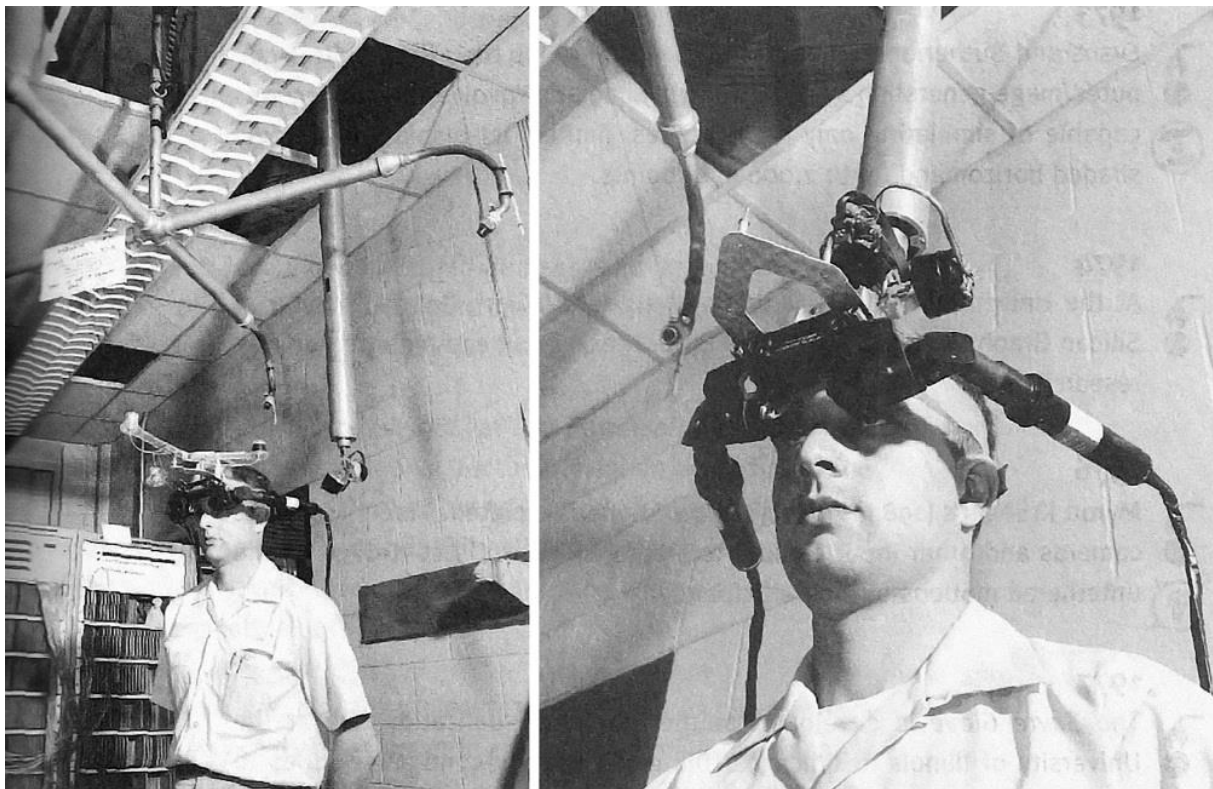


Figura 2-7: El dispositivo *Espada de Damocles* de Ivan Sutherland. (Fuente: Sutherland, 1968)

⁴ Para más información:

<https://www.elindependiente.com/futuro/2019/02/24/asi-nacio-la-realidad-virtual-en-1968/>

En 1990 se le pidió a Tom Caudell, un empleado de la *Boeing Computer Services Research*, que creara un reemplazo para el sistema que utilizaba la Boeing de grandes tableros de madera contrachapada con instrucciones de cableado para cada avión que se estaba construyendo. Caudell y su compañero de trabajo, David Mizell, propusieron un dispositivo montado en la cabeza (Figura 2-8) que superponía la posición de los cables a través de las gafas y los proyectaba en tableros reutilizables de usos múltiples. En lugar de tener que usar diferentes tableros para cada avión, los propios trabajadores podrían usar las instrucciones de cableado personalizadas. Caudell y Mizell acuñaron el término *Realidad Aumentada* para esta tecnología (Caudell & Mizell, 1992).

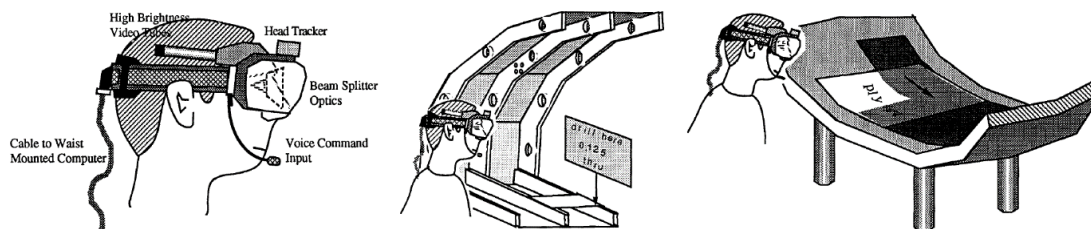


Figura 2-8: Dispositivo montado en la cabeza para la empresa Boeing. (Fuente: Caudell & Mizell, 1992)

Algunos de los primeros dispositivos de RV no tuvieron, aun así, el éxito esperado. Por ejemplo, en 1993, Sega, una compañía de videojuegos, anunció el lanzamiento de los cascos *Sega VR* para el popular *Sega Genesis* en el *Consumer Electronics Show* (CES). Sin embargo, el sistema estuvo plagado de dificultades de desarrollo y nunca se llegó a comercializar. El CEO de Sega en ese momento, Tom Kalinske, dijo que *Sega VR* fue retirado debido a que los evaluadores sufrieron mareos y fuertes dolores de cabeza. Esta fue una desafortunada primera incursión en la RV de juegos para consumidores (Mealy, 2018).

Al mismo tiempo, otro veterano de la industria de los juegos decidió producir su propia versión de RV. *Nintendo Virtual Boy* (Figura 2-9) fue lanzado en 1995 como el primer dispositivo portátil capaz de mostrar gráficos 3D estereoscópicos.



Figura 2-9: Virtual Boy de Nintendo. (Fuente: canalrcn.com)

Con *Virtual Boy*, Nintendo esperaba desarrollar una tecnología única y cimentar su reputación como empresa innovadora, fomentando una mayor creatividad en el desarrollo de juegos fuera del entorno tradicional de las pantallas 2D. Sin embargo, los problemas técnicos también afectaron al *Virtual Boy*⁵. Las pruebas iniciales de las pantallas LCD en color causaron imágenes con saltos, lo que llevó a Nintendo a sustituir los LED rojos con los que finalmente se comercializó. Además, *Virtual Boy* había sido concebido como un sistema montado en la cabeza que incluía el seguimiento. Sin embargo, debido a las preocupaciones sobre el mareo por movimiento y el riesgo de desarrollar condiciones de ojo vago en los niños, Nintendo cambió el sistema montado en la cabeza a un formato de mesa. Los críticos echaron por tierra el sistema. Nunca pudo cumplir con los objetivos de ventas y desapareció del mercado en un año. Estos primeros fracasos, junto con otros intentos fallidos de crear dispositivos de RV de consumo masivo, retrasaron su desarrollo durante algunas décadas (Mealy, 2018).

A nivel comercial, la RV empezó a abrirse paso de manera decidida a partir de 2010, cuando el emprendedor tecnológico Palmer Luckey ideó una serie de prototipos de cascos de RV de bajo coste, baja latencia (retrasos entre la interacción del usuario y la actualización de la pantalla para reflejar esas interacciones), campo de visión amplio y peso apropiado para un cómodo manejo. Su unidad de sexta generación se llamó Oculus Rift (Figura 2-10) y la ofreció en el sitio web de financiamiento de proyectos Kickstarter como Rift Development Kit 1 (DK1)⁶. Fue lanzada en 2013. La campaña comercial de Kickstarter fue un gran éxito y recaudó 2,4 millones de dólares, casi el 980 % del objetivo original. Y, sobre todo, sirvió para impulsar el interés del mercado de consumo en la RV a un máximo histórico (Mealy, 2018).



Figura 2-10: Oculus Rift Development Kit 1. (Fuente: oculus.com)

⁵ Para más información sobre *Virtual Boy* de Nintendo:
<https://www.looper.com/233207/heres-why-the-virtual-boy-was-a-complete-failure/>

⁶ Para más información sobre el desarrollo de Oculus Rift:
<https://www.smithsonianmag.com/innovation/how-palmer-luckey-created-oculus-rift-180953049/>

Por su parte, la RA tuvo un inesperado aumento de popularidad a raíz de la aparición del teléfono móvil. Al igual que la RV, esta tecnología había pasado prácticamente inadvertida durante algunas décadas desde su creación. El interés había aumentado ligeramente con el auge de la RV en los últimos años, y los nuevos desarrollos de compañías como Microsoft, Meta y Magic Leap se habían mostrado prometedores, pero no había nada disponible para el consumo masivo y no estaba claro cuándo lo estaría (Mealy, 2018).

En 2017, la RA experimentó su mayor impulso desde su aparición, ya que tanto Apple como Google lanzaron sus propias versiones de RA para los dispositivos móviles basados en los sistemas operativos iOS o Android. Aunque ninguna de las dos empresas ha publicado cifras exactas, se estima que la cantidad de usuarios con dispositivos compatibles con ARKit o ARCore superó los 250 millones a fines de 2017. A partir de entonces, los desarrolladores comenzaron a competir para crear contenidos orientados a ese mercado en continuo auge, y las diferentes aplicaciones de RA (basadas en marcadores, sin marcadores y basadas en la ubicación) se multiplicaron (Mealy, 2018).

La RV y la RA a menudo se consideran la cuarta ola del cambio tecnológico emergente (las primeras tres fueron el ordenador personal, Internet y los dispositivos móviles).

2.3. Evaluación del desarrollo de la RA en base al *Hype Cycle* de Gartner

Las olas tecnológicas pasan por varias fases con picos y valles antes de llegar a la adopción masiva por parte del consumidor. Para su evaluación, la firma de investigación de tecnología de la información Gartner propuso el *Gartner Hype Cycle*, una representación de cómo se desarrollan las expectativas en torno a las tecnologías transformadoras desde el momento de su lanzamiento (Blosch & Fenn, 2018). El *Hype Cycle* de Gartner puede ayudar a predecir cómo se adaptará (o no) una tecnología con el tiempo. Tanto Internet (con la caída de las *puntocom*) como los dispositivos móviles anteriores a 2007 pasaron por curvas de mercado similares.

En una primera fase, la innovación de las primeras pruebas de concepto y la atención de los medios despiertan el interés en la nueva tecnología (*Innovation Trigger*). A continuación, animadas por el trabajo inicial y el revuelo de los medios, las empresas se fijan unas expectativas más altas de las que la tecnología aún puede ofrecer (*Peak of Inflated Expectations*). En una fase sucesiva, el interés en la tecnología comienza a disminuir a medida que las implementaciones de la tecnología no logran cumplir con las elevadas expectativas establecidas (*Trough of Disillusionment*). Es en este momento cuando algunas tecnologías pueden desaparecer sin haber alcanzado su objetivo inicial. Basados en aquellas tecnologías que son capaces de superar la fase anterior, suelen empezar a aparecer productos de segunda y tercera generación, la tecnología y sus usos pasan a ser mejor comprendidos por parte del público general, y su adopción generalizada comienza a despegar (*Slope of Enlightenment*). Finalmente, se llega a una fase en la que realmente comienza la adopción masiva (*Plateau of Productivity*), donde las empresas empiezan a recuperar la inversión realizada y a obtener beneficios⁷ (Figura 2-11).

Determinar dónde se encuentran la RV y la RA en este ciclo puede ser útil para tomar decisiones sobre cómo plantearse su empleo. Según Herdina (2020), «la RA ya no se considera una tecnología emergente, y ahora está lista para pasar de la fase piloto a la de producción en el ámbito empresarial».

⁷ Para más información:

<https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>

Como observa, después de subir la curva del ciclo de manera constante año tras año, la RA descendió abruptamente hasta el punto más bajo de la desilusión (*Trough of Disillusionment*) en 2018.

Data by Gartner Inc. - Graphic by Wikitude

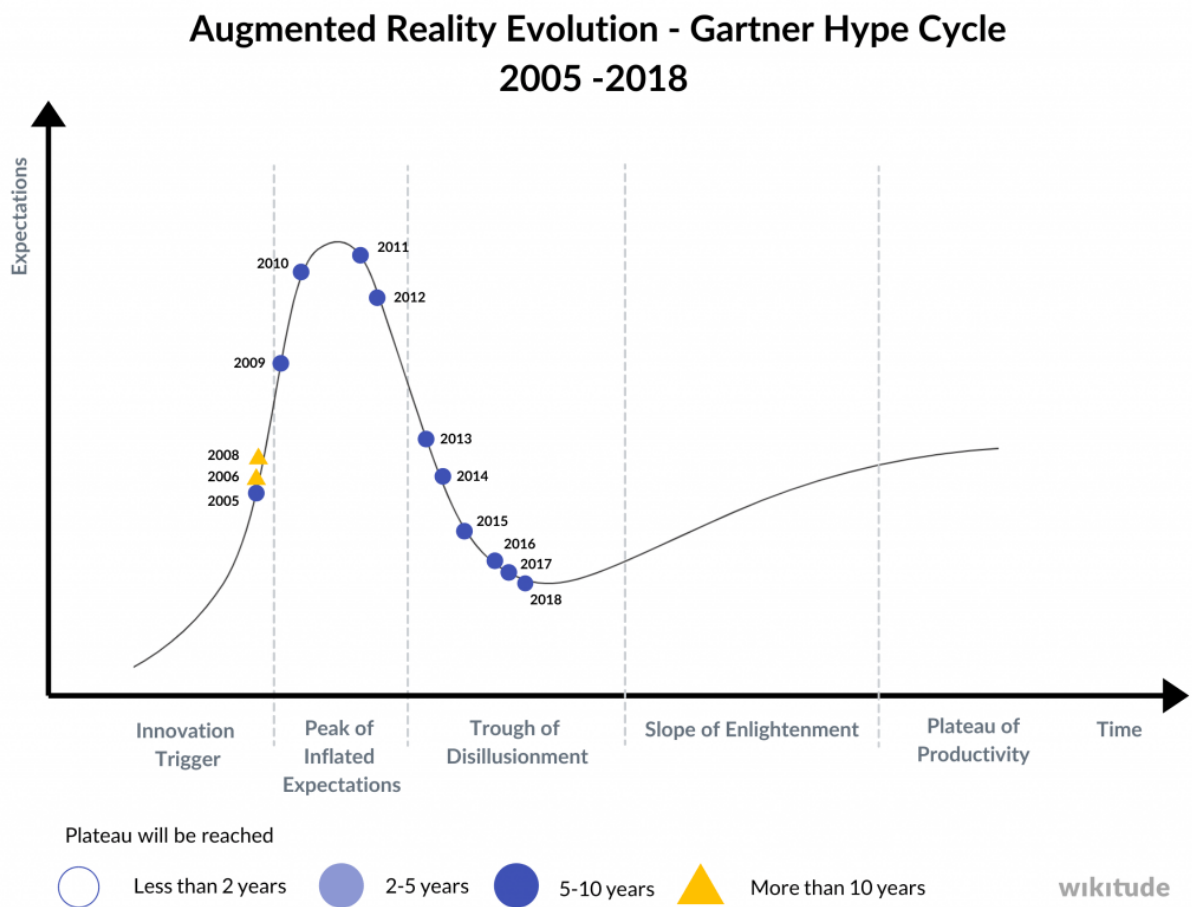


Figura 2-11: Evolución de la RA en el *Hype Cycle* de Gartner. (Fuente: Herdina, 2020)

En ese momento, los especialistas estimaron que la RA necesitaría de 5 a 10 años más para alcanzar la madurez. Sin embargo, sorprendentemente, en el 2019 la RA desapareció por completo del *Hype Cycle*, y en el 2020 no volvió a figurar.

Según Gartner⁸, la RA ha madurado tan rápidamente que ya no se considera una tecnología emergente: "Si bien continúa siendo una tecnología importante, la RA se acerca rápidamente a un estado mucho más maduro, lo que la aleja de la clase de tecnología emergente de los perfiles de innovación". Esto significa que RA ha alcanzado la madurez y se ha convertido en una tecnología probada en la industria en la que se puede invertir, de manera segura, para mejorar e innovar. Como concluye Herdina (2020), «Catalizada por una pandemia global, la RA se volverá más ubicua y se trasladará a donde debería estar: mezclada con el mundo que nos rodea».

⁸ Para más información:
<https://skarredghost.com/2019/09/04/augmented-reality-mature-gartner/>

2.4. Empleo de la RA en la educación

2.4.1. Idoneidad de la RA como herramienta educativa

La RA, hoy en día, cuenta con una serie de características que la hacen idónea como instrumento pedagógico, lo que tiene como resultado que su uso se esté extendiendo cada vez más en el ámbito educativo. Kairu (2021) destaca cinco aspectos de esta tecnología que favorecen su implantación en la docencia:

- Equipos asequibles. A diferencia de otras tecnologías, como la RV, la RA puede experimentarse con dispositivos de fácil disponibilidad tales como tabletas, ordenadores de escritorio y portátiles, y teléfonos inteligentes. Estos dispositivos tienen la ventaja de poderse adquirir a un precio reducido, debido a su economía de escala, y de contar con una amplísima difusión, debido a su uso generalizado en los ámbitos del trabajo, el ocio y la educación. Es decir, la RA, hoy en día, y a diferencia de la RV, no requiere dispositivos específicos diferentes a los de uso cotidiano.
- Portabilidad. El reducido peso y tamaño de tabletas, ordenadores portátiles y teléfonos móviles, y un acceso a internet cada vez más ubicuo, hacen que las herramientas de AR puedan estar disponibles en múltiples lugares y situaciones. En ámbito educativo, esto significa que las herramientas de RA pueden utilizarse no solo en el aula, sino también en actividades fuera del centro.
- Acceso a recursos de aprendizaje. La RA puede ampliar fácilmente la información contenida en los soportes físicos tradicionales (como el material impreso, los libros de texto y el material de laboratorio) ayudando a discernir entre información primaria y secundaria. Además, ofrece las ventajas de la combinación de mundos virtuales y reales por medio de la interacción. Por otro lado, los alumnos pueden obtener y manipular información y datos (tanto simulados como reales) relativos a su tiempo, ubicación y entorno actuales.
- Aprendizaje activo. La RA se puede utilizar para reproducir con precisión las condiciones en el trabajo y para ayudar a dominar las habilidades requeridas en una tarea particular. Los alumnos logran mejores resultados mediante la inmersión completa y la interactividad. En lugar de limitarse a leer la teoría de un determinado tema, pueden ver su representación virtual en acción, y actuar sobre ella.
- Seguridad. La RA permite crear entornos de aprendizaje seguros para la práctica de habilidades que, si se realizasen en entornos del mundo real, podrían acarrear peligro o causar daños. La inserción de información digitalizada en el espacio de trabajo real mediante la RA puede proporcionar a los alumnos herramientas intuitivas para implementar procedimientos de trabajo correctos, obtener una mayor precisión y seguridad, y cometer menos errores.

2.4.2. Implantación de la RA en el ámbito educativo

La RA tiene cada vez una mayor implantación en el ámbito educativo, y tiende a consolidarse paulatinamente. Este hecho se puede constatar a través de la publicación anual de estudios científicos que tratan sobre la aplicación de la RA en la educación. En el meta-análisis de Garzón et al. (2019), que cubre 61 estudios publicados entre 2012 y 2018 en revistas científicas y actas de congresos, se puede observar que el número de estudios publicados ha ido aumentando progresivamente año tras año (Figura 2-12).

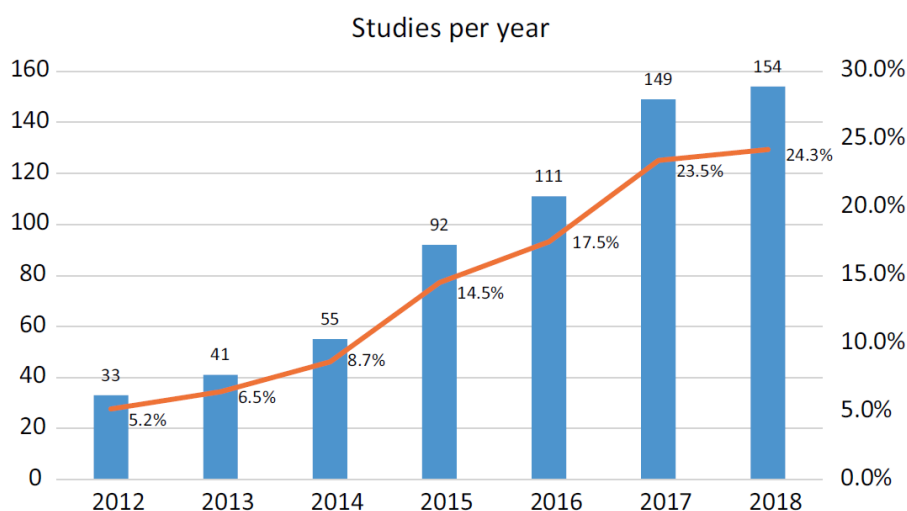


Figura 2-12: Estudios anuales de RA en ámbito educativo. 2012-2018. (Fuente: Garzón et al., 2019)

Estudios anteriores ya habían advertido una tendencia ascendente en el número de publicaciones por año, si bien el carácter incipiente de la RA hacía que no se pudiesen extraer todavía conclusiones definitivas. En la revisión de Akçayır & Akçayır (2017), donde se analizan 68 artículos de investigación publicados entre 2012 y 2015, se constataba que a partir de 2007 el número de estudios sobre RA en ámbito educativo había aumentado de manera constante cada año (Figura 2-13). Se observaba, además, una intensificación de las publicaciones en los últimos cuatro años (hasta 2015), lo que sugería que un nivel de interés similar continuaría de 2016 en adelante (como así fue).

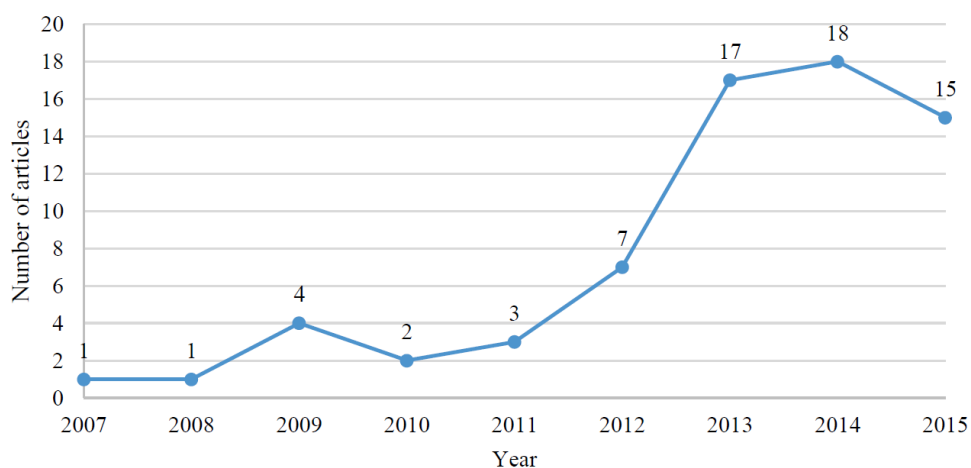


Figura 2-13: Estudios anuales de RA en ámbito educativo. 2007-2015. (Fuente: Akçayır & Akçayır, 2017)

Una de las posibles razones de que la investigación en esta área haya aumentado drásticamente después de 2011 es que, a partir de entonces, el uso de la RA a través de dispositivos móviles se ha generalizado. Desde 2010, los avances en las tecnologías móviles (especialmente los teléfonos inteligentes y las tabletas), han hecho que la RA resulte más asequible para el público general. En el estudio de Akçayır & Akçayır (2017) se concluye que las tecnologías de RA más utilizadas con fines educativos fueron los dispositivos móviles, con un 60% del total (Figura 2-14). Estos dispositivos ofrecen muchas ventajas, especialmente para los estudiantes más jóvenes, como el hecho de ser muy asequibles económicamente y fáciles de usar; la portabilidad; el fomento de una alta

interactividad social (lo que promueve las competencias colaborativas) y la autonomía de uso. Por otro lado, dado que los dispositivos móviles permiten a los estudiantes realizar consultas y actividades basadas en la ubicación, facilitan el aprendizaje significativo.

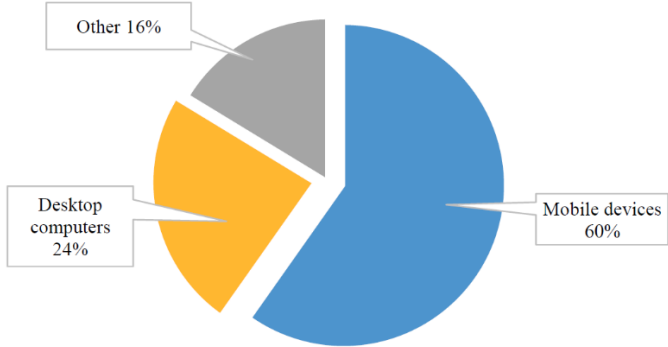


Figura 2-14: Empleo de dispositivos de RA en ámbito educativo. (Fuente: Akçayır & Akçayır, 2017)

Las conclusiones acerca de la evolución ascendente del número de publicaciones científicas sobre RA en ámbito educativo se ven confirmadas, y son analizadas con mayor profundidad, en uno de los más recientes y completos análisis bibliométricos (análisis estadísticos que proporcionan una valoración cuantitativa de la información de diferentes fuentes escritas) llevados a cabo hasta la fecha. El estudio de Avila-Garzon et al. (2021) recopila metadatos de 3.475 publicaciones del periodo 1995-2020 agrupadas en dos categorías: A: artículos y publicaciones, y B: libros, capítulos de libros y ponencias. En primer lugar, este estudio determina que la tasa de crecimiento anual del Grupo A fue del 21.6%, y la del Grupo B, del 22,8%. Se señala que el año de mayor productividad de ambos grupos fue 2019 (no hay datos completos de 2020), lo que demuestra el interés creciente de la investigación sobre RA en ámbito educativo en años recientes (Figura 2-15).

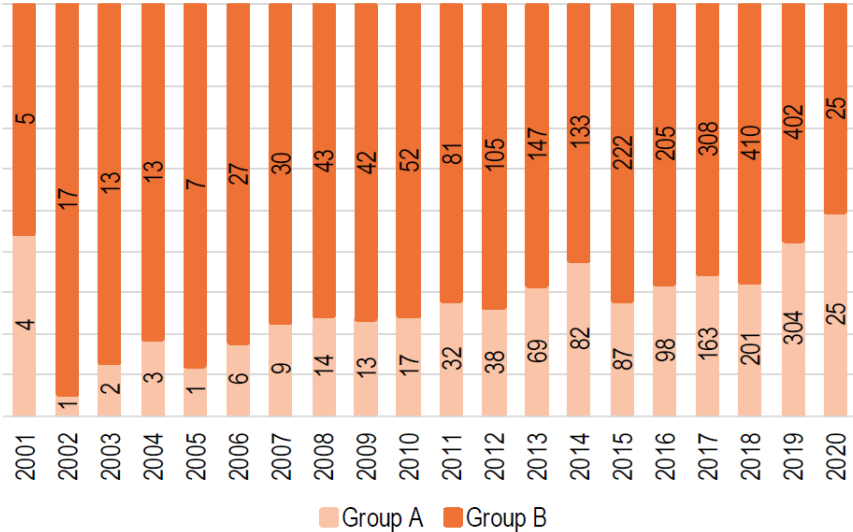


Figura 2-15: Estudios anuales de RA en ámbito educativo. (Fuente: Avila-Garzon et al., 2021)

Cabe destacar que, en los años que cubre este estudio, España es el segundo país del mundo en producción de literatura científica sobre RA en ámbito educativo (A=257, B=256), por delante de Taiwán (A=202, B=220), Reino Unido (A=107, B=158), o Alemania (A=103, B=205), y solo por detrás de los EEUU (A=514, B=558) (Figura 2-16, 2-17).

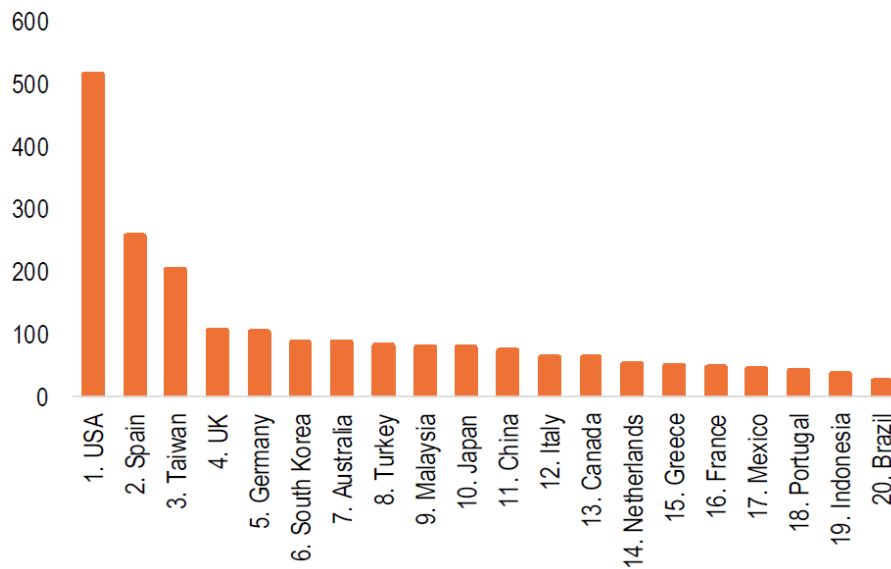


Figura 2-16: Estudios por países de RA en ámbito educativo (A). (Fuente: Avila-Garzon et al., 2021)

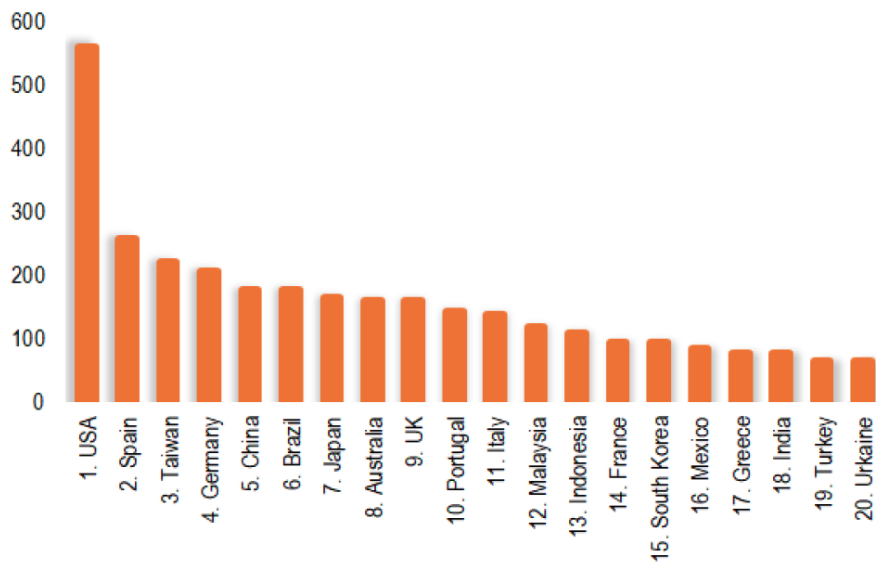


Figura 2-17: Estudios por países de RA en ámbito educativo (B). (Fuente: Avila-Garzon et al., 2021)

Además, es uno de los que lleva contribuyendo a este campo desde hace más años, concretamente desde antes de 2014 (Figura 2-18).

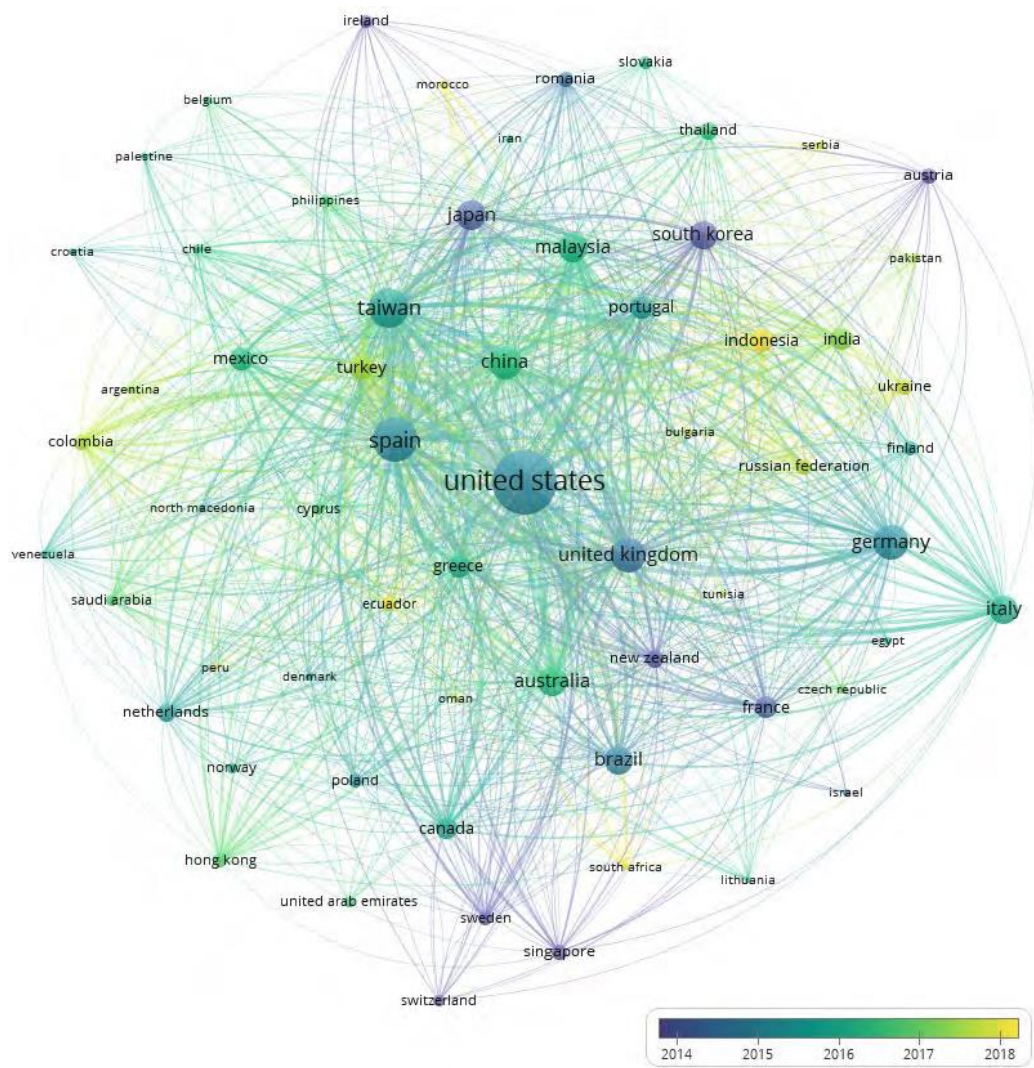


Figura 2-18: Estudios de RA en ámbito educativo por países y años. (Fuente: Avila-Garzon et al., 2021)

Si nos fijamos en el número de autores que contribuyeron a la literatura científica sobre RA en ámbito educativo (mayor número de publicaciones y citas por año), se puede observar que también aumentó de manera progresiva, con un incremento creciente en los últimos años (Figura 2-19, 2-20).

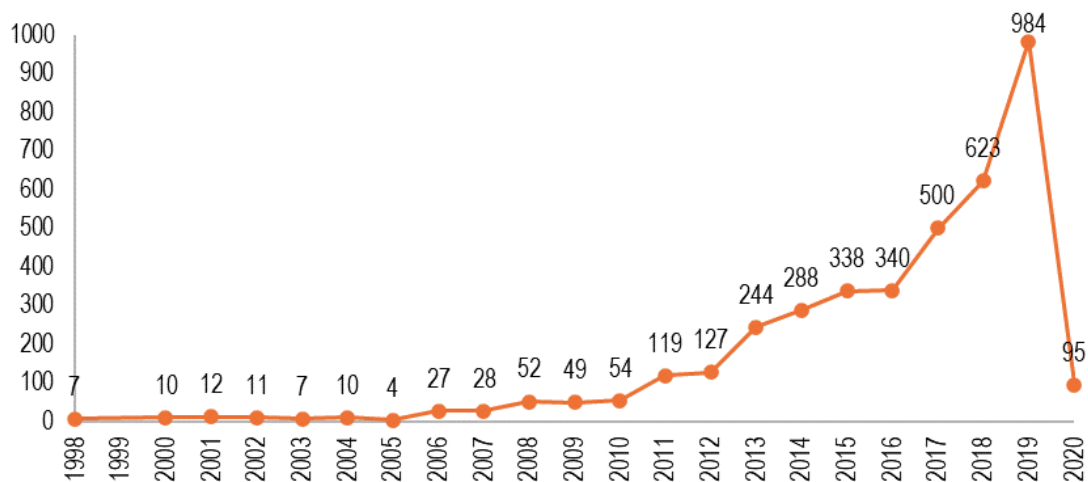


Figura 2-19: Autores de RA en ámbito educativo por año (A). (Fuente: Avila-Garzon et al., 2021)

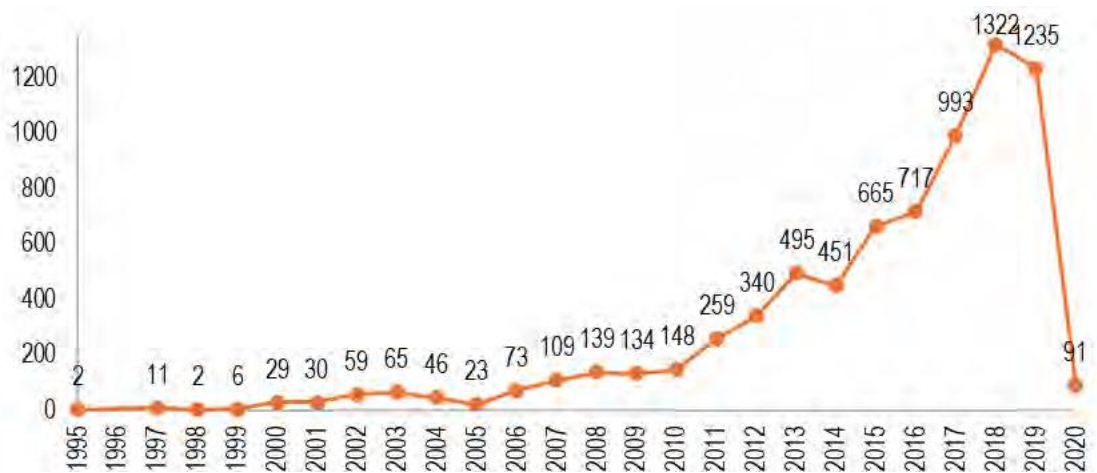


Figura 2-20: Autores de RA en ámbito educativo por año (B). (Fuente: Avila-Garzon et al., 2021)

Observando la red de citas conjuntas de estos autores se puede apreciar que, en ambos grupos, durante el periodo 1997-2014, los autores con un mayor número de publicaciones fueron Azuma (1997) y Dunleavy et al. (2009). Sus trabajos pueden ser considerados seminales en el campo de la RA en ámbito educativo. Sin embargo, a partir de 2014 aparece una nueva red de citas conjuntas centrada en los trabajos de Radu (2014), Wojciechowski & Cellary (2013), y Sommerauer & Müller (2014), que parece definir nuevas tendencias de investigación en este ámbito (sin duda relacionadas con la aparición de dispositivos móviles, como vimos con anterioridad) (Figura 2-21, 2-22).

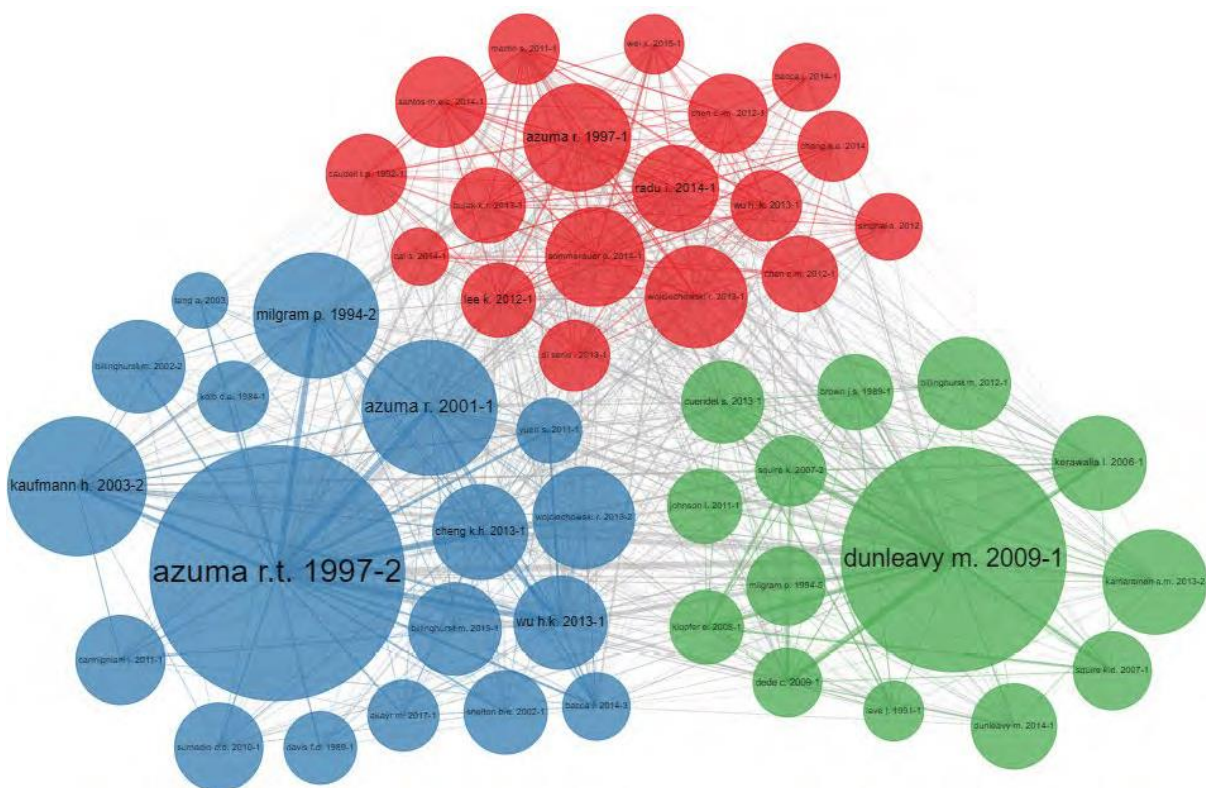


Figura 2-21: Citas conjuntas de autores de RA en ámbito educativo (A). (Fuente: Avila-Garzon et al., 2021)

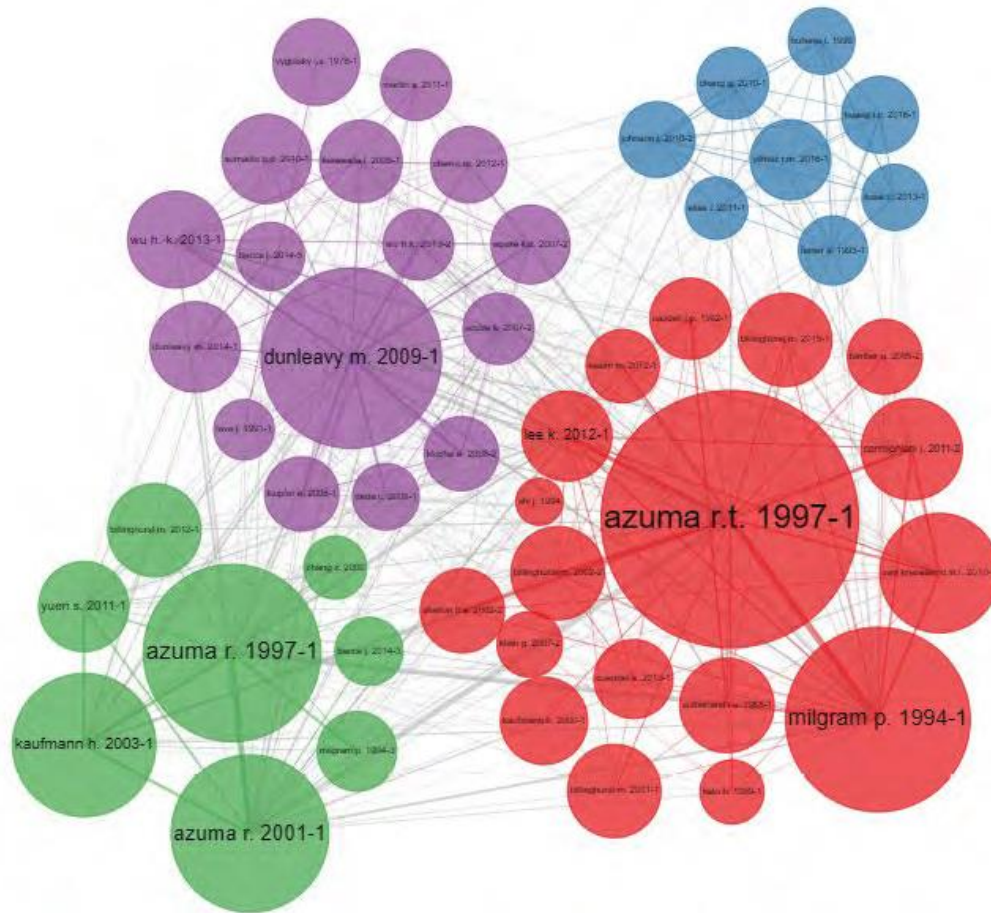


Figura 2-22: Citas conjuntas de autores de RA en ámbito educativo (B). (Fuente: Avila-Garzon et al., 2021)

Para analizar en detalle el empleo de la RA dentro de las áreas de conocimiento comprendidas en el ámbito STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), uno de los trabajos de mayor relevancia es el llevado a cabo por Mystakidis et al. (2021) en el marco de la educación superior, basado en un total de cuarenta y cinco artículos publicados en revistas internacionales revisadas por pares en el periodo comprendido entre 2010 y 2020. Podemos ver que los campos STEM con mayor número de investigaciones en lo que respecta al uso de la tecnología RA fueron Ingeniería (30), Ciencia (11), Tecnología (3) y Matemáticas (1) (Figura 2-23, 2-24).

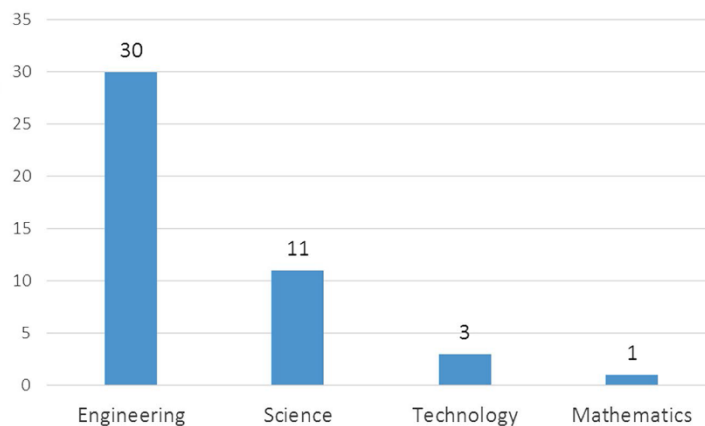


Figura 2-23: Estudios de RA en ámbito STEM. (Fuente, Mystakidis et al., 2021)

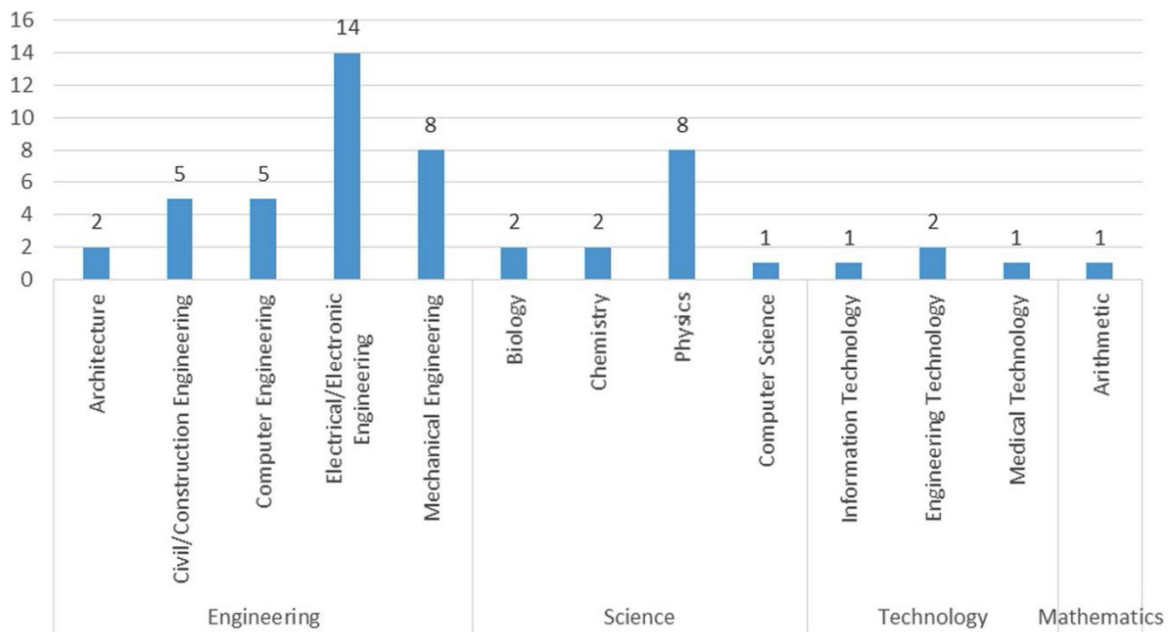


Figura 2-24: Estudios de RA en ámbito STEM por área de aprendizaje. (Fuente, Mystakidis et al., 2021)

En lo que respecta al software y a los equipos de hardware utilizados mayoritariamente para el diseño y el desarrollo de actividades respaldadas por RA, se observa que el uso de dispositivos móviles es predominante en casi todas las áreas STEM, mientras que la difusión de aplicaciones de RA con la ayuda de tecnología ponible (*wearable*) muestra un claro potencial futuro (Mystakidis et al., 2021) (Figura 2-25). Concretamente, se obtienen los siguientes resultados:

- Dispositivos de primera generación: Ordenadores de sobremesa (12)
- Dispositivos de segunda generación: Dispositivos móviles (29)
- Dispositivos de tercera generación: Tecnología ponible (9), Equipos de proyección (3)

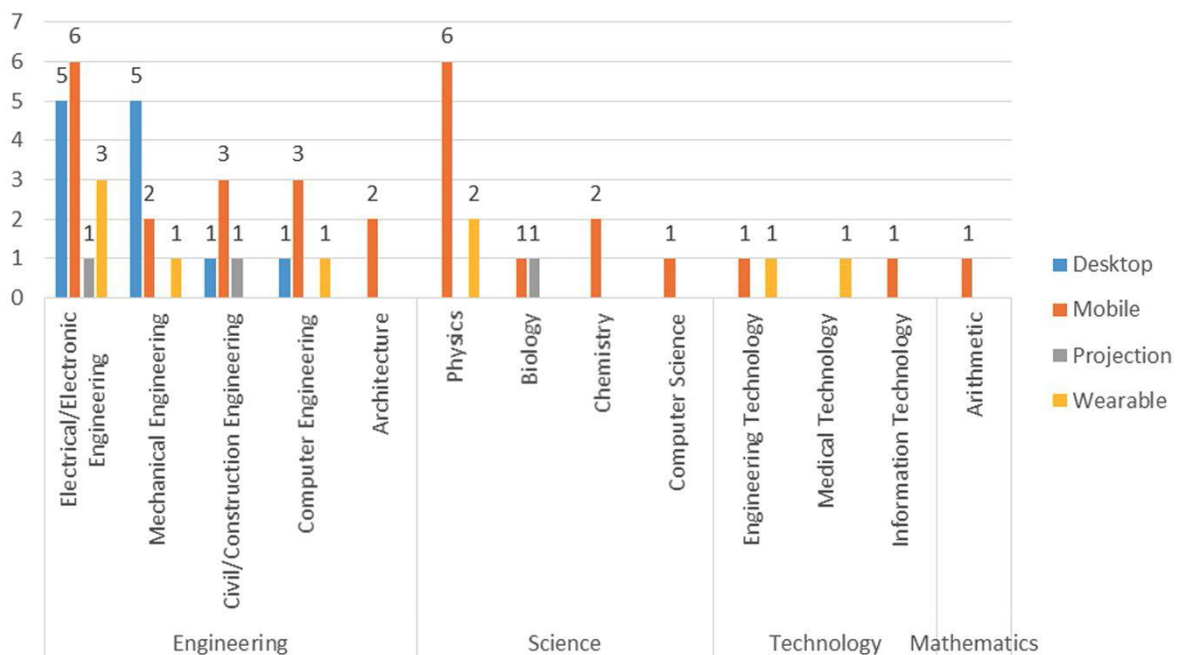


Figura 2-25: Dispositivos de RA utilizados en cada ámbito STEM. (Fuente, Mystakidis et al., 2021)

En cuanto a los tipos de herramientas de RA utilizadas, en primer lugar, se encuentran las basadas en marcadores (37), seguidas de las basadas en la ubicación (6) y, por último, de las que no emplean marcadores (3) (Figura 2-26).

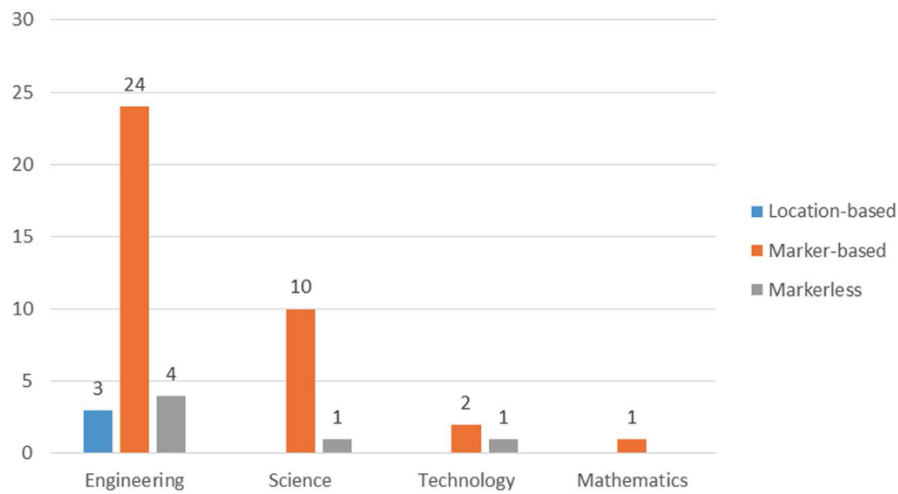


Figura 2-26: Herramientas de RA utilizadas en cada ámbito STEM. (Fuente, Mystakidis et al., 2021)

Una cuestión importante a tener en cuenta en lo relativo al empleo de la RA en la didáctica es el tipo de elementos u objetos sobre los que viene aplicada. A este respecto, en primer lugar, aparecen los libros de texto y las fichas (25), seguidos del equipamiento especializado de laboratorio (21) y, por último, de los cuerpos físicos objeto de estudio (7) (Figura 2-27).

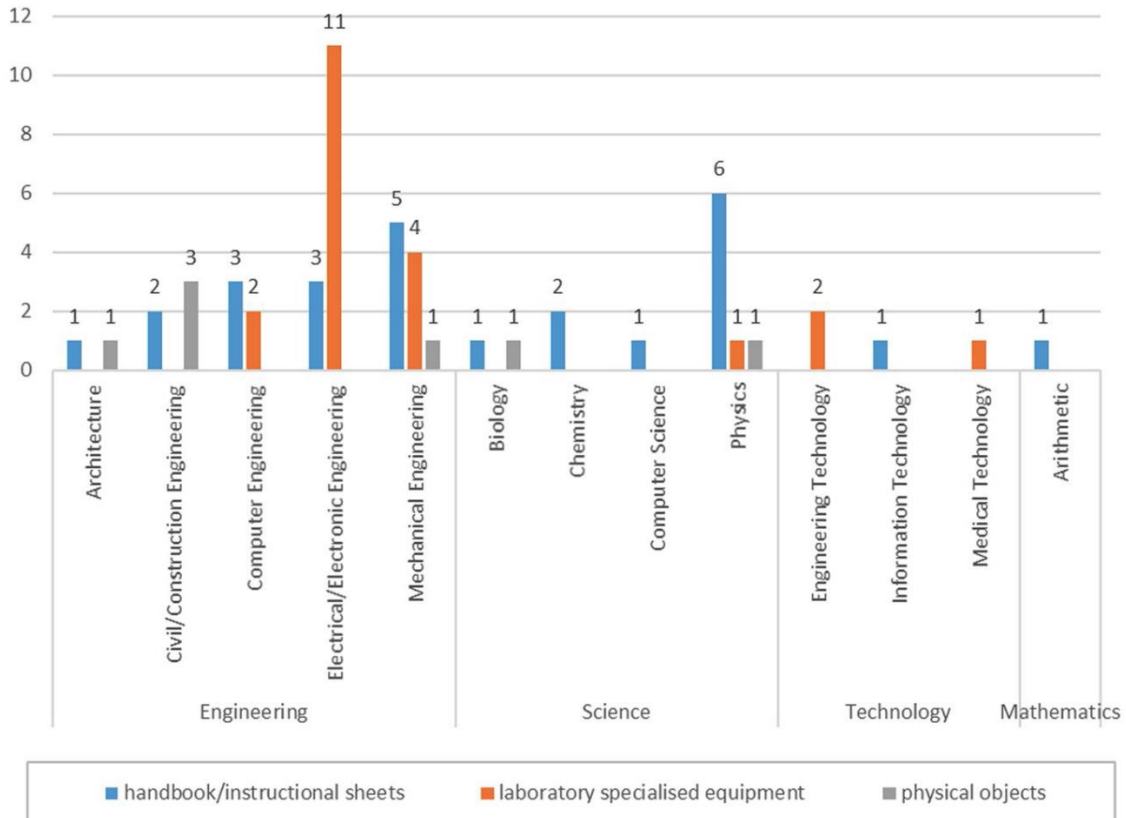


Figura 2-27: Objetos de aplicación de RA utilizados en cada ámbito STEM. (Fuente, Mystakidis et al., 2021)

Concretamente, los recursos y técnicas de aumento empleados sobre estos objetos se reparten entre elementos multimedia (sonido, imágenes, video; 40), visualización de objetos 3D (30), textos (24), y recursos avanzados (por ejemplo, sistemas de IA con respuesta en tiempo real, instructores virtuales, etc.; 4) (Figura 2-28, 2-29). Hay que señalar que, en ocasiones, se suelen utilizar más de una de las mencionadas técnicas de acuerdo con los objetivos de aprendizaje y la estructura del curso (por ejemplo, modo de lectura, ejercicio o simulación).

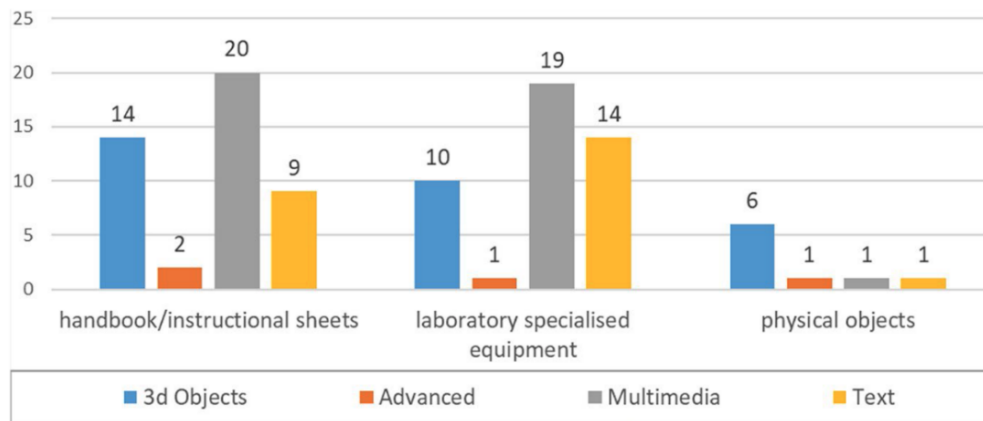


Figura 2-28: Técnicas de RA utilizadas con cada objeto de aplicación. (Fuente, Mystakidis et al., 2021)

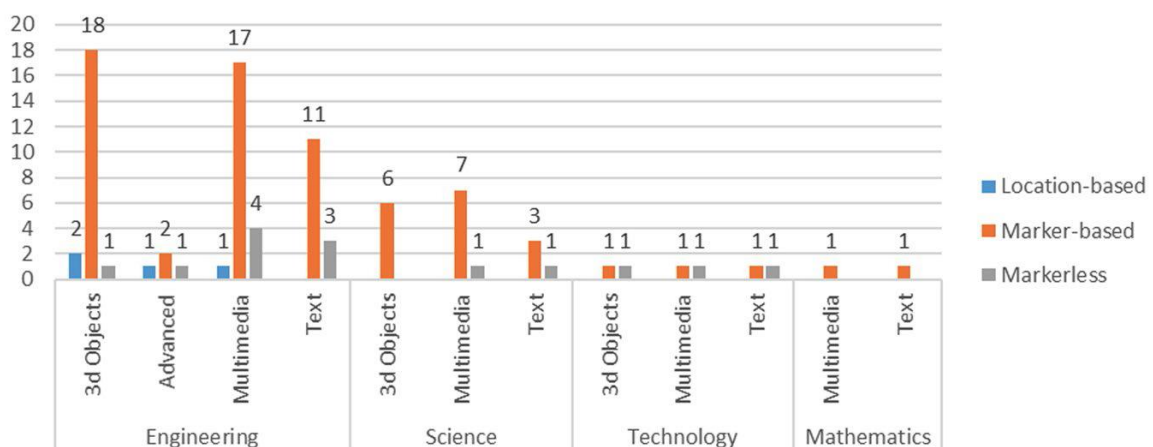


Figura 2-29: Herramientas de RA utilizadas con cada técnica de aumento. (Fuente, Mystakidis et al., 2021)

En cuanto a los niveles formativos que se seleccionan comúnmente para los estudios de investigación de RA en ámbito educativo, Akçayır & Akçayır (2017) señalan que, en más de la mitad de los artículos analizados en su estudio (51 %), los estudiantes seleccionados eran de Educación Primaria y Secundaria. Los estudiantes universitarios (29%) ocuparon el segundo lugar (Figura 2-30). Como comentan los autores, «dado que los estudiantes de Primaria y los primeros adolescentes de Secundaria se encuentran en la Etapa de Operaciones Concretas de acuerdo con las etapas de desarrollo cognitivo de Piaget, deben ver, oír o de alguna otra manera usar sus sentidos para adquirir conocimientos. Por ello, el aumento de la capacidad de visualización y percepción que ofrece la RA juega un papel muy importante en el aprendizaje de los estudiantes en estas etapas. Esto puede explicar por qué los estudiantes de Primaria y Secundaria son los principales grupos de muestreo» (Akçayır & Akçayır, 2017, p.9).

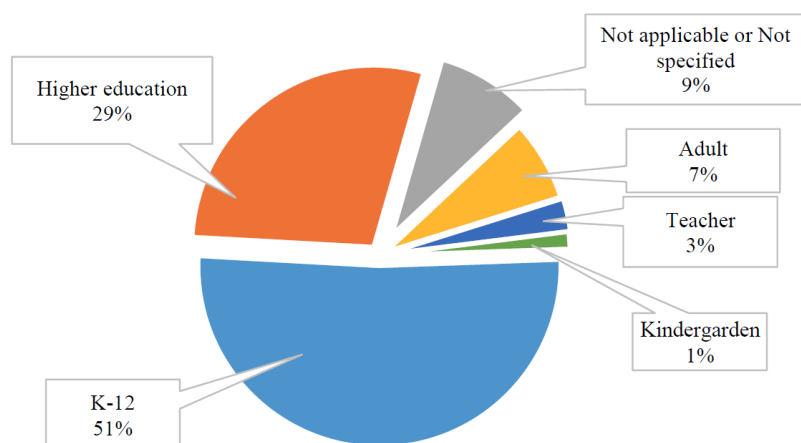


Figura 2-30: Niveles educativos objeto de investigación sobre RA. (Fuente: Akçayır & Akçayır, 2017)

Sin embargo, en el estudio de Garzón & Acevedo (2019), donde se llevó a cabo un metaanálisis de 64 artículos de investigación cuantitativa publicados entre 2010 y 2018, se concluye que la RA tiene un gran efecto en licenciaturas y un efecto de medio a grande en grados de ciclo corto. Por otro lado, se encontró que el efecto es medio en Educación Primaria y Educación Secundaria. Una explicación, según estos autores, podría ser que problemas como la complejidad del uso de los sistemas, la multitarea y la sobrecarga de información pudiesen afectar a los usuarios más jóvenes.

2.4.3. Relación de la RA con los enfoques pedagógicos y las metodologías educativas

En general, la mayoría de los estudios sobre RA en ámbito educativo no analizan los diferentes enfoques pedagógicos ni las metodologías empleadas, ignorando de alguna manera que el éxito de una acción educativa depende no solo de las características técnicas de la tecnología empleada, sino también de las metodologías pedagógicas para implementarlas. El debate sobre si es la tecnología o el método de aprendizaje el protagonista principal del proceso de aprendizaje viene de lejos y quizás nunca se resuelva. El denominado «debate Clark/Kozma» se centró en el papel de los medios en el proceso de aprendizaje, y ha sido un punto constante de discordia durante décadas. Clark (1994) afirmó que la tecnología no influye en el aprendizaje per sé. Sostuvo que la tecnología, así como otros medios, son meros vehículos de información y que, en cambio, las estrategias pedagógicas son las encargadas de lograr el propósito de aprender. Por el contrario, Kozma (1994) argumentó que la tecnología ofrece ventajas únicas que enriquecen el ambiente de aprendizaje, ventajas que no podrían obtenerse sin la ayuda de este medio.

Saltan & Arslan (2017), en una revisión que abarcó 23 estudios de investigación de numerosos países, constataron que hubo pocos estudios que hubiesen integrado aplicaciones de RA con un enfoque pedagógico o una estrategia de instrucción concretos. La mayoría de los estudios no determinaron ni utilizaron un enfoque pedagógico, sino que simplemente se centraron en integrar las aplicaciones de RA en las actividades del plan de estudios, y evaluaron los resultados con respecto a los resultados educativos, especialmente recopilando las perspectivas de los estudiantes con respecto al uso de las aplicaciones de RA. Los estudios que integraron enfoques pedagógicos en aplicaciones de RA durante el proceso de enseñanza-aprendizaje lo hicieron basándose en Aprendizaje Situado (4), Aprendizaje Basado en la Investigación (3), Aprendizaje Basado en el Juego (3), y Aprendizaje Colaborativo (2).

Uno de los trabajos de investigación más completos donde se aborda la relación de la RA en ámbito educativo con los enfoques pedagógicos y las metodologías educativas empleadas es el estudio de Garzón et al. (2020). Este estudio presenta un meta-análisis cuantitativo de 46 estudios empíricos para identificar, a la luz de las teorías del aprendizaje, cómo las metodologías pedagógicas afectan al impacto de la RA en la educación. Parte de la premisa de que las actividades de RA en educación deben considerar tanto las características técnicas como las estrategias pedagógicas para obtener lo mejor de esta tecnología con el fin de mejorar el aprendizaje de los estudiantes. Aborda el problema de que la falta de enfoques pedagógicos formales al aplicar la RA a las actividades de aprendizaje tiende a confundir y frustrar a los estudiantes, y tiene como objetivo presentar conclusiones respecto a las estrategias pedagógicas a implementar en las actividades realizadas con RA en ámbito educativo. En los resultados del estudio se encontró que, analizando el impacto de la RA en educación, el tamaño del efecto (ES, *effect size*) general era $d = .72$ (d representa d de Cohen), lo que indicaba que la RA tiene un efecto medio en los logros de aprendizaje de los estudiantes. Sin embargo, este resultado no es el efecto único de la aplicación de la RA, sino de la combinación de diferentes variables que influyen en las actividades desarrolladas con RA. El efecto de factores como la metodología pedagógica, el entorno de aprendizaje y la duración de la actividad moderan los resultados de aprendizaje.

Respecto al impacto de las metodologías pedagógicas en los resultados de aprendizaje de los estudiantes, se encontró que el ES era $d = .76$ para los métodos basados en la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia (TCAM); $d = .85$ para el Aprendizaje Colaborativo (AC); $d = .73$ para el Aprendizaje Basado en la Indagación (ABI); $d = .74$ para el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP); y $d = .59$ para el Aprendizaje Situado (AS). Estos resultados indican que los resultados del aprendizaje podrían ser más más beneficiosos siguiendo una metodología de AC. De hecho, el AC es la única metodología pedagógica que tuvo un gran efecto en los resultados de aprendizaje de los estudiantes. Como se señala en el trabajo, algunos estudios han encontrado que la RA puede causar una sobrecarga cognitiva debido a la cantidad de material y a la complejidad de las tareas que deben realizar los estudiantes. Para reducir este problema, parece apropiado utilizar el AC, que se ha descrito como un enfoque útil para disminuir la carga cognitiva. Además, se ha demostrado que tecnologías como la RA mejoran los resultados de aprendizaje en entornos colaborativos, especialmente en el aprendizaje de ciencias.

En el estudio se encontró que el ES era de medio a alto en los métodos TCAM, ABP y ABI. El TCAM fue el método más versátil, ya que se había utilizado en actividades de RA que involucraban cada ámbito y nivel educativos. Este método se centra en encontrar metodologías de instrucción efectivas, en lugar de tecnologías específicas, lo que lo convierte en un método dinámico que previsiblemente se expandirá más allá del ciclo de vida de cualquier tecnología en particular. Del mismo modo, ABP es un método versátil que se puede implementar con éxito en diferentes escenarios. Este método ha cobrado importancia en los últimos años porque fomenta en los estudiantes valores como la colaboración, la motivación y la responsabilidad por su propio aprendizaje, que serán la base de la forma en que trabajarán con los demás en su vida adulta. El ABI se había utilizado exclusivamente en actividades de RA del ámbito de las ciencias naturales. Las actividades de investigación se mejoran con RA porque permite la creación de sustitutos virtuales o altamente realistas para el trabajo que los estudiantes tienen que explorar a través de su propia investigación. Además, el éxito del ABI depende de un alto nivel de motivación de los estudiantes. La motivación ha sido descrita como una de las ventajas más relevantes de la RA en educación, lo que puede explicar los resultados positivos de este método en las actividades de RA.

Paralelamente, se encontró que el tamaño del efecto ES era medio con el método de AS. Aunque el AS tiene el ES más bajo, es el enfoque más popular en las actividades de RA porque las aplicaciones de RA se pueden ubicar en cualquier entorno educativo. Se encontró que el ES es un poco más elevado en los niveles educativos más altos, como la licenciatura, en comparación con los niveles más bajos, como la educación secundaria y primaria. Esto es debido a que los estudiantes adultos tienen una base teórica más sólida, lo que facilita la creación del vínculo entre un escenario específico y lo que ya saben (Garzón et al., 2020).

Respecto al efecto de las variables moderadoras (variables que afectan la relación entre una variable dependiente y una variable independiente) en los resultados de aprendizaje de los estudiantes en las actividades de RA, se encontró que, en relación al ambiente de aprendizaje, el ES era $d = .71$ en las actividades desarrolladas dentro del centro (aulas, laboratorios), y $d = .73$ en actividades externas (excursiones, museos, actividades al aire libre). Estos resultados sugieren una pequeña ventaja a la hora de realizar actividades de RA en entornos informales fuera de las aulas y laboratorios, pero ambos tienen un impacto de medio a alto en la educación. Además, no existe una tendencia a utilizar un ambiente de aprendizaje específico según el método pedagógico, el ámbito educativo, el nivel de educación o la duración de la actividad. Respecto a la duración de la actividad, se encontró una ventaja significativa en las actividades de RA que duraban entre una semana y cuatro semanas, y que cualquier otra categoría de duración de la actividad no tenía efectos significativos en los resultados de aprendizaje. El AC aparecía como el método más efectivo dentro de esta categoría, con un efecto muy grande. Los fundamentos del AC establecen que formas particulares de interacción entre las personas desencadenan mecanismos de aprendizaje. Sin embargo, esta interacción no ocurre de la noche a la mañana, sino que lleva más tiempo que otros métodos de aprendizaje. La adquisición de conocimientos en el AC requiere tiempo y esfuerzo para tener éxito, pero cuando se realiza correctamente, brinda experiencias de aprendizaje muy valiosas para los estudiantes. Las actividades de un día y las de un mes o más mostraron un impacto medio en la educación.

Finalmente, a raíz de un análisis cruzado, se estableció que no había diferencias significativas en los resultados de aprendizaje de los estudiantes en los niveles de educación primaria, secundaria inferior, secundaria superior y licenciatura según la metodología de aprendizaje, el entorno de aprendizaje o la duración de la actividad.

Las conclusiones finales del estudio fueron que una combinación adecuada de tecnología de RA y metodologías pedagógicas específicas enriquece los entornos educativos (Garzón et al., 2020). Mientras que AS fue el método pedagógico más común, AC mostró el mayor impacto en el aprendizaje de los estudiantes. En cuanto al entorno de aprendizaje, el centro educativo fue el preferido para las intervenciones de RA. Sin embargo, el uso de un entorno de aprendizaje específico no planteó diferencias significativas en el impacto de la RA en la educación. El método pedagógico más efectivo dentro del centro educativo fue el enfoque ABP, mientras que el AC obtuvo mejores resultados en las actividades externas. En cuanto a la duración de la intervención, los mejores resultados se dieron en las intervenciones que duraron entre una y cuatro semanas. Sin embargo, un análisis más profundo de los resultados indicó que las actividades externas fueron más efectivas cuando la intervención duró uno o más meses y, en cambio, las actividades en el centro fueron más efectivas cuando la intervención duró un solo día.

En el estudio de Herpich et al. (2019), se identificaron las teorías y metodologías educativas que aparecían en 57 artículos publicados entre 2011 y 2018, dando cuenta de su gran variedad:

- Aprendizaje colaborativo (*Collaborative Learning*): 7
- Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia (*C.T. Multimedia Learning*): 6
- Aprendizaje basado en la indagación (*Inquiry-Based Learning*): 6
- Estilos de aprendizaje (*Learning Styles*): 5
- Aprendizaje semipresencial (*Blended Learning*): 3
- Aprendizaje experiencial (*Experiential Learning*): 3
- Inteligencias múltiples (*Multiple Intelligences*): 3
- Taxonomía de Bloom (***Bloom's Taxonomy***): 2
- Clase invertida (*Flipped Classroom*): 2
- Aprendizaje basado en juegos (*Game Based Learning*): 2
- Aprendizaje basado en proyectos (*Project Based Learning*): 2
- Aprendizaje situado (*Situated Learning*): 2
- Enseñanza orientada a la acción (*Active Learning*): 1
- Teoría de la carga cognitiva (*Cognitive Load Theory*): 1
- Constructivismo (*Constructivism*): 1
- Pensamiento crítico (*Critical Thinking*): 1
- Inteligencia espacial (*Spatial Intelligence*): 1
- Lectura dialógica (*Dialogic Reading Model*): 1
- Teoría de flujo (*Flow Theory*): 1
- Modelo de recursos múltiples (*Multiple Resource Theory*): 1

Diecinueve estudios no especificaron la teoría o la metodología educativa utilizada en sus actividades de RA.

Como se puede ver, destaca el Aprendizaje Colaborativo (7). La RA se ha utilizado con frecuencia a través de esta metodología porque permite compartir ideas, las interacciones, los debates y la colaboración con otros compañeros de clase. Le sigue la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia (6). La RA implementa inherentemente un subconjunto de los principios de diseño formulados en esta teoría, a saber, el principio multimedia, el principio de contigüidad espacial, el principio de contigüidad temporal, el principio de modalidad y el principio de señalización. También destaca el Aprendizaje Basado en la Indagación (6). La actividad de aprendizaje basada en la indagación por medio de la RA es capaz de involucrar a los estudiantes en más interacciones para la construcción del conocimiento, porque es un método pedagógico basado en la investigación de preguntas, escenarios o problemas.

En el estudio de Ibáñez & Delgado-Kloos (2018), en el que se analiza un conjunto de 28 publicaciones científicas de RA en ámbito STEM publicadas de 2010 a 2017, se encontraron tres diferentes estrategias de instrucción:

- Instrucción a través de la presentación (8 estudios), donde se ofrecían a los estudiantes ideas generales sobre un tema que posteriormente se desarrollaba a través de una presentación. Se llevaba a cabo por medio de libros aumentados, en los que los estudiantes podían seleccionar el punto de vista apropiado para los modelos virtuales 3D que aparecían en las páginas, y de animaciones interactivas tridimensionales, en las que los estudiantes tocaban los modelos interactivos en el dispositivo portátil para que apareciese información más detallada sobre el modelo, así como animaciones y videos interactivos.

- Instrucción a través del descubrimiento (13 estudios). Estrategia de aprendizaje altamente autodirigida y constructivista, en la que se requiere que los alumnos construyan conocimiento descubriendo por sí mismos, en lugar de que se les transmita la información. Se utilizaron aplicaciones para mejorar la información que ofrecía un lugar concreto que se visitaba, aplicaciones interactivas en clase que permitían a los estudiantes inferir conocimiento a través de su interacción con objetos digitales 3D, y entornos de aprendizaje combinados donde 1) la aplicación de RA proporcionaba la información o los datos para la medición y 2) las actividades en clase promovían la formación de hipótesis, el análisis de datos y la reflexión.
- Aprendizaje cooperativo (7 estudios). Entornos de aprendizaje combinados donde la herramienta de aprendizaje de RA se usó individualmente y la colaboración se llevó a cabo en el mundo real.

Además, se constató el empleo de cinco diferentes técnicas de instrucción:

- Observación (14 estudios). Los alumnos activaron información digital como imágenes, texto, video o animación al interactuar con la herramienta basada en RA. El alumno recibió la información de forma pasiva. Se dividieron en:
 - Observación estructurada (6 estudios). Libros aumentados, recursos digitales a través de dispositivos móviles, o un conjunto de actividades de aprendizaje de RA organizadas como un flujo de aprendizaje.
 - Observación libre (8 estudios). Permitieron a los estudiantes elegir tanto el contenido como el orden en el que explorarlo, y se implementaron a través de simuladores basados en RA o a través de herramientas de aprendizaje basadas en marcadores.
- Indagación (10 estudios). Esto requería el uso de una herramienta basada en RA que proporcionara al menos una de las operaciones de la investigación científica, a saber, generar hipótesis, diseñar comparaciones, recopilar observaciones, analizar datos y construir interpretaciones.
- Juego (2 estudios).
- Juego de rol (1 estudio). Se les pidió a los estudiantes que se comportasen en situaciones ficticias como el personaje que representaban.
- Mapas conceptuales (1 estudio). La herramienta basada en RA permitió el etiquetado y la conexión de conceptos relacionados con la instrucción.

Por su parte, Mystakidis et al. (2021) identificaron cinco estrategias educativas diferentes:

- Experiencial (16 estudios): Aprender haciendo. Tiene la ventaja de poder manipular una simulación del material de laboratorio a distancia, sin los riesgos asociados. La desventaja es la pérdida de los beneficios asociados al trabajo en equipo.
- Cooperativa/Colaborativa (8 estudios). Estos estudios utilizaron entornos de aprendizaje "híbridos", donde la herramienta de aprendizaje de RA se usó individualmente y la colaboración se llevó a cabo en el mundo real.
- Presentación (9 estudios): Explicaciones basadas principalmente en texto, elementos multimediales y objetos 3D. Al mejorar la entrega del contenido teórico con elementos de RA, el material del curso se vuelve más atractivo (especialmente para aquellos estudiantes

que no están al día o tienen un interés limitado en el aprendizaje), se reduce el tiempo requerido para asimilar la información presentada y los niveles de satisfacción aumentan.

- Basada en actividades (10 estudios): Ejecución de tareas bajo la guía del educador. El reto de esta estrategia es mantener el interés y la atención de los estudiantes.
- Basada en el descubrimiento (investigación científica) (4 estudios): Estrategia de tipo constructivista en la que los estudiantes construyen y dirigen su propio aprendizaje.

En las Figuras 2-31 y 2-32 se ilustra el empleo de las estrategias educativas respaldadas por RA en todo el espectro STEM.

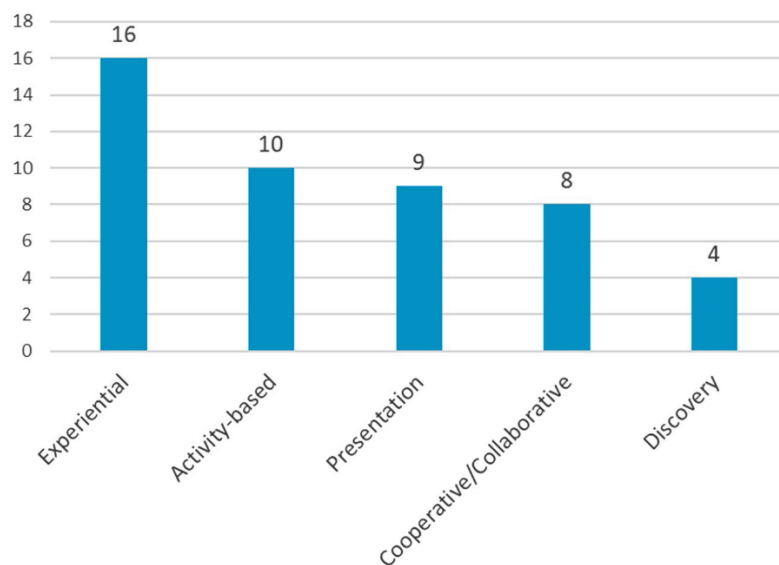


Figura 2-31: Estrategias educativas respaldadas por RA. (Fuente: Mystakidis et al., 2021)

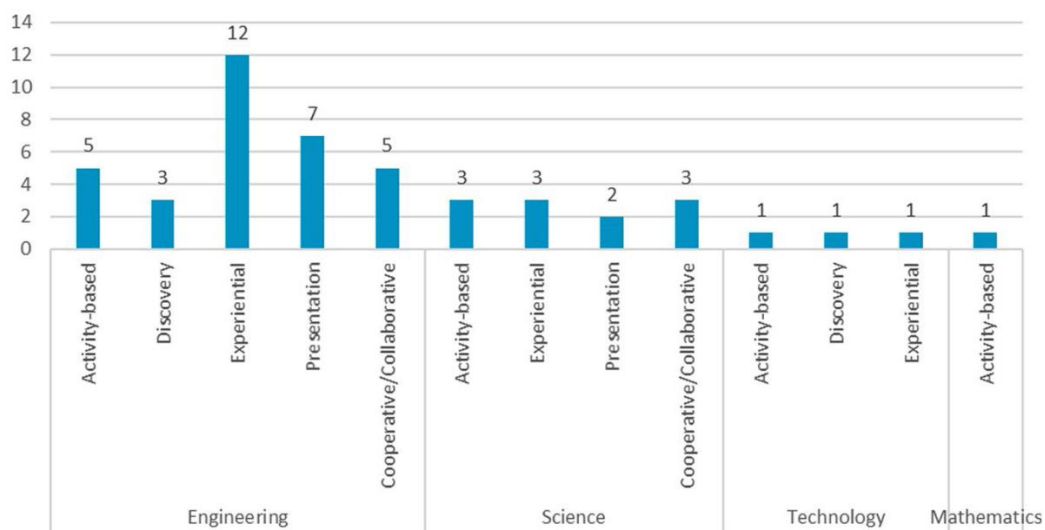


Figura 2-32: Estrategias educativas respaldadas por RA por ámbito STEM. (Fuente: Mystakidis et al., 2021)

Paralelamente, se identificaron cinco técnicas de instrucción diferentes:

- Simulación (12 estudios). Las simulaciones que usan RA desarrollan un entorno "híbrido" que comprende información visualizada a través de dispositivos móviles y/o de escritorio que se puede proyectar en objetos del mundo real.
- Proyecto (9 estudios). Los estudiantes aprenden participando activamente en proyectos del mundo real.
- Observación (18 estudios). Observación de modelos 3D, textos emergentes o animaciones.
- Resolución de problemas (7 estudios). Capacidad para observar y analizar un problema, así como para idear, planificar, implementar y evaluar soluciones al mismo.
- Pregunta-respuesta (1 estudio). Realiza un seguimiento del progreso del estudiante.

La distribución de estas técnicas se presenta en las Figuras 2-33 y 2-34.

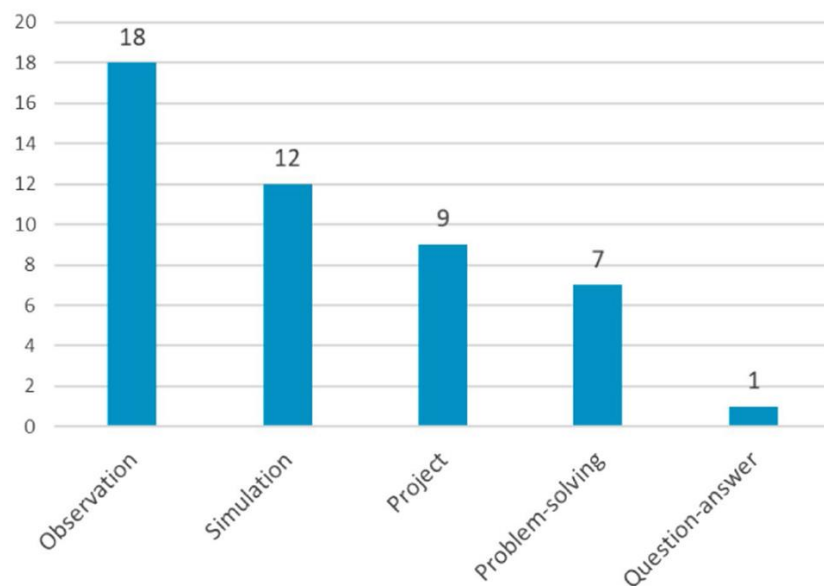


Figura 2-33: Técnicas de instrucción respaldadas por RA. (Fuente: Mystakidis et al., 2021)

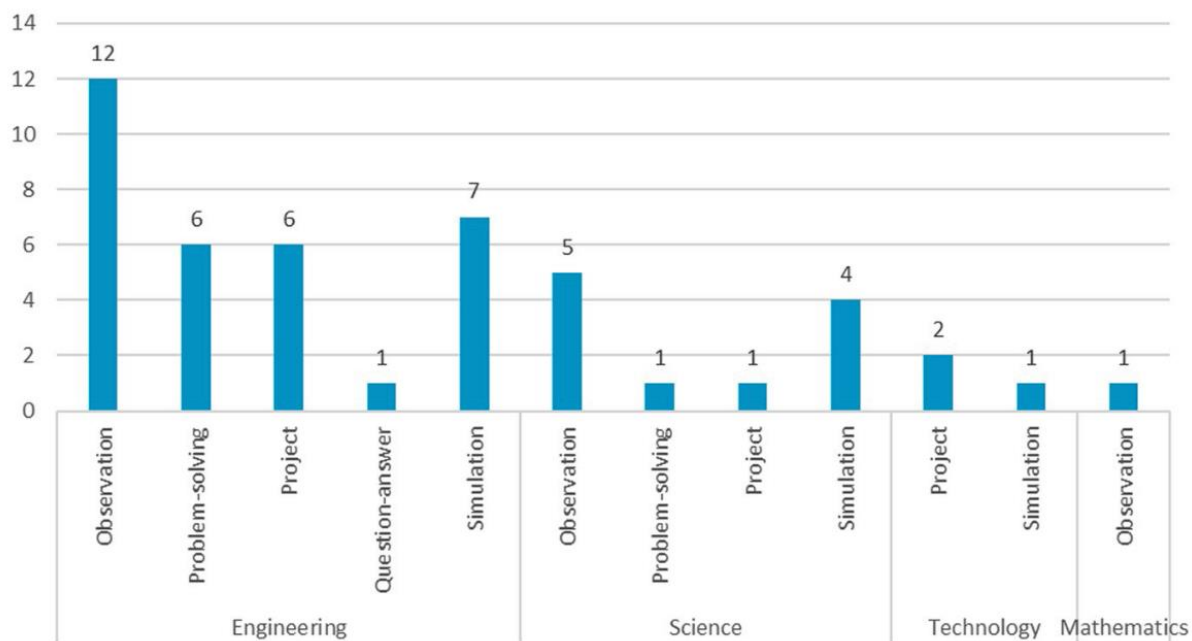


Figura 2-34: Técnicas de instrucción respaldadas por RA por ámbito STEM. (Fuente: Mystakidis et al., 2021)

La relación entre estrategias educativas y técnicas de instrucción se recoge en las Figuras 2-35 y 2-36.

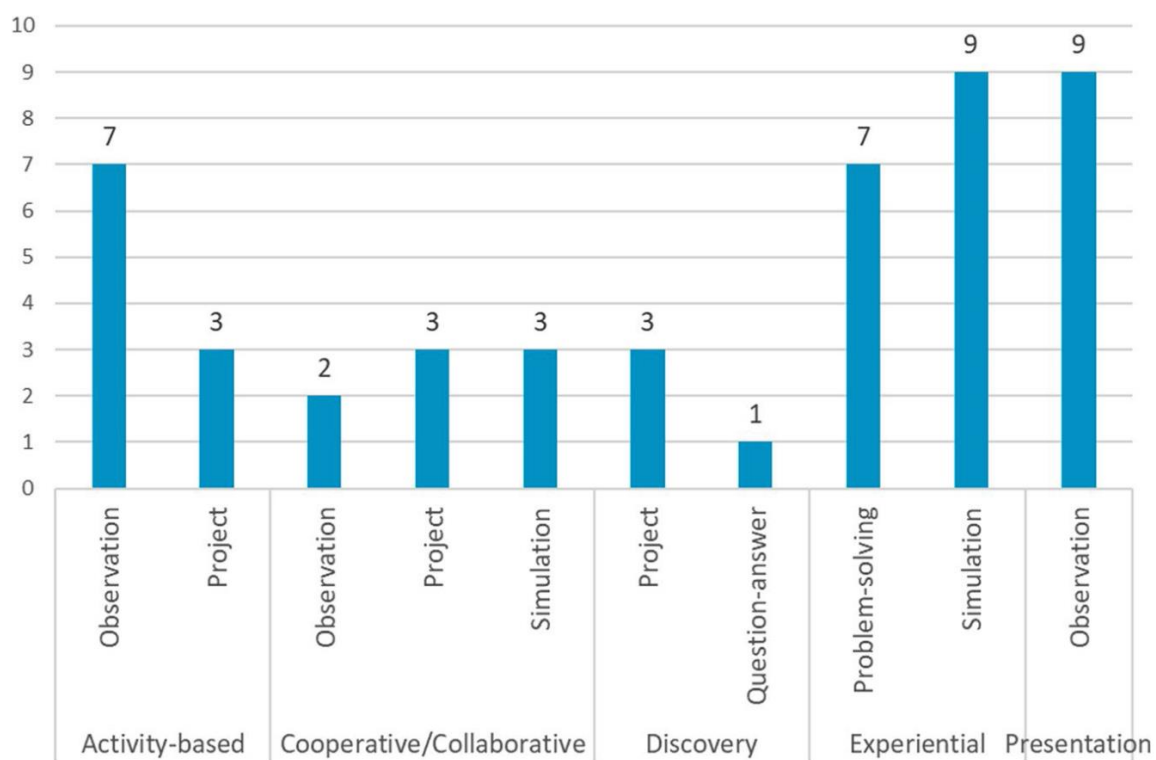


Figura 2-35: Estrategias educativas y técnicas de instrucción. (Fuente: Mystakidis et al., 2021)

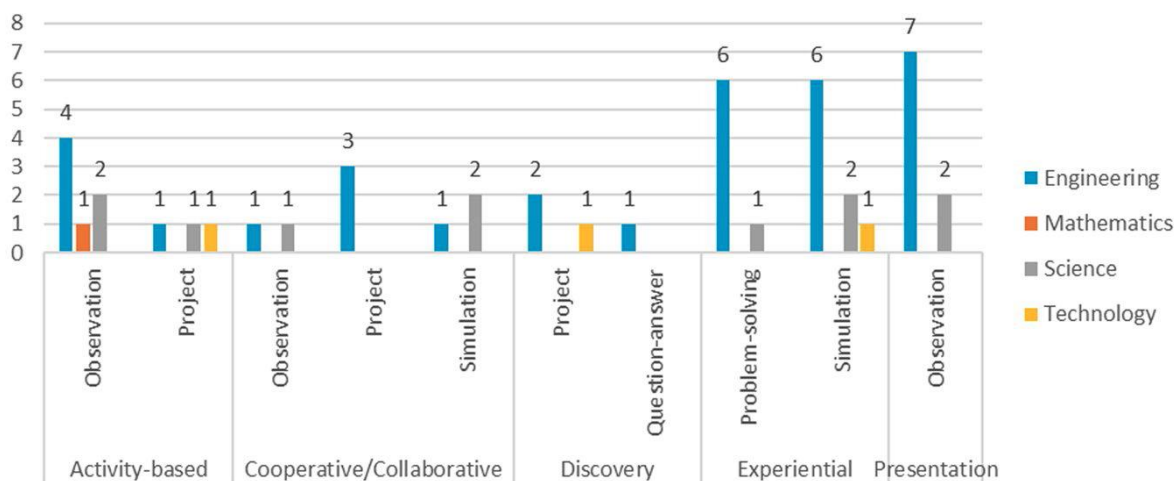


Figura 2-36: Estrategias educativas y técnicas de instrucción en STEM. (Fuente: Mystakidis et al., 2021)

2.4.4. Implementación de la tecnología de RA en la educación

Como se ha comentado anteriormente, en la actualidad, la RA en ámbito educativo viene implementada principalmente a través de dispositivos móviles como teléfonos inteligentes y tabletas (Akçayır & Akçayır, 2017). Uno de los trabajos de investigación que recoge más en profundidad los detalles de su utilización y desarrollo es el de Herpich et al. (2019), que llevan a cabo una revisión sistemática de la literatura con una muestra de 57 artículos publicados entre 2011 y 2018 sobre el estado del arte de cómo se ha utilizado la RA Móvil (RAM) con fines educativos.

En referencia a las áreas de conocimiento en las que se han aplicado las metodologías que hacen uso de la RAM en contextos educativos, se observa que en primer lugar aparece la Ciencia (27 estudios), seguida del Arte (16), la Ingeniería (9), la Tecnología (3), y las Matemáticas (2).

Las plataformas de desarrollo utilizadas fueron de tres tipos:

- Herramientas o lenguajes de programación generales: Unity 3D (5), XCode (5), Java (3), iPhone SDK (3), Android SDK (2), Game Studio A8, Microsoft Visual Studio, Mobile Media API.
- SDK de RA o *Frameworks*: ARToolkitPlus (4), Vuforia (3), AR-Media, OpenCV, ZXing QR-code, Wikitude.
- Plataformas de contenidos de RA: Layar (5), Metaio (4), Junaio (4), Aurasma (3), SIO2 (3), ARIS Platform (2), Mixare (2), ARLearn, Artlantis, FreshAir, GLUEPS-AR.

Se puede constatar la gran cantidad y diversidad de plataformas disponibles actualmente. Esto demuestra el auge en el desarrollo tecnológico de recursos de RAM que se ha dado en los últimos años. Las más utilizadas fueron Layar (5 estudios), Unity 3D (5 estudios) y XCode (5 estudios). Estas plataformas se consideran herramientas consolidadas y robustas para el desarrollo de recursos de RAM (Herpich et al., 2019).

Sin embargo, es importante tener en cuenta que en los últimos años ha habido un uso creciente de nuevas plataformas de edición de RA, como Metaio (recientemente rebautizada como ARKit), Vuforia y Aurasma (recientemente rebautizada como HP Reveal). Esta creciente demanda de *Frameworks* de RA está relacionada con la eventual dificultad a la que se enfrentan los profesionales que carecen de

experiencia en el área de la programación (como educadores e investigadores de cualquier área remota a la computación) al tratar de desarrollar software con fines educativos.

Por lo que respecta a las herramientas de creación multimedia y contenido pedagógico, se señaló el empleo de las siguientes: Blender 3D (4 estudios), Google Maps (3 estudios), DropBox (2 estudios), Oracle (2 estudios), Mediawiki (2 estudios), 3D Studio Max (2 estudios), OpenSceneGraph, YouTube, Youtopia, SketchUp, Tapa-Carp, Moon Finder, Sky Map, Apple Maps, Cloud Cities, Google Forms/Slides, Picasa, Moodle, CocoaAsyncSocket y Weebly (1 estudio).

Entre los sistemas operativos utilizados para ejecutar los recursos de RAM, se encuentran Android (23), iOS (19), Windows (3) y Symbian (1). Android e iOS son los sistemas operativos más populares en el mercado móvil actualmente. Este factor destaca la importancia de elegir una plataforma de desarrollo de RAM que los admita. Sin embargo, una alternativa a eventuales incompatibilidades del sistema operativo del dispositivo móvil del usuario con la aplicación de RAM es utilizar plataformas que ofrezcan aplicaciones propias como Augment, Aurasma, BlippAR, CraftAR, LayAR, PixLive y Wikitude que, además de ofrecer una plataforma de edición de RA para que el usuario cree sus propios contenidos, hacen que la aplicación esté disponible para diferentes sistemas operativos, requiriendo únicamente que el usuario la instale en su smartphone o tableta.

Por su parte, los recursos multimedia que se emplearon fueron: imágenes (46), videos (36), textos (36), objetos 3D (30), audios (12), animaciones (7), cuestionarios (7), infografías (2), mapas (2), zoom-in/out (2), gráficos 2D o 3D (2), páginas web/enlaces (2), chat, libros, foro, pizarra, hipertextos, juegos educativos, direcciones, navegación, brújula. (Tres artículos no especificaron los recursos multimedia empleados).

El potencial educativo de la RA se basa de manera consistente en la presentación de recursos multimedia a los alumnos, motivando la interacción y estimulándoles a aprender ideas abstractas utilizando diferentes recursos. Objetos 3D, imágenes, videos y textos predominaron respecto a los demás recursos multimedia. El análisis de los datos permitió verificar que pocos enfoques de RAM están siguiendo las constantes evoluciones de la tecnología y de las nuevas demandas de los usuarios. De hecho, del 60 al 80 por ciento de los estudios utilizaron recursos obsoletos como imágenes y textos. Esto demuestra la necesidad de desarrollar nuevos recursos educativos que reflejen esta evolución (Herpich et al., 2019).

Por último, los dispositivos empleados fueron: tabletas (36), teléfonos inteligentes (30), dispositivos montados en la cabeza (HMD) (4), ordenadores (3), gafas de RV (2), teléfono convencional (1).

En el estudio de Ibáñez & Delgado-Kloos (2018) se encontró que la mayoría de herramientas de programación utilizadas fueron aplicaciones nativas de desarrollo propio que utilizaban sensores de dispositivos autoprogramados (11 estudios). Ocho estudios utilizaron herramientas de desarrollo de RA: Vuforia (cinco estudios), Metaio (un estudio), Layar (un estudio) y Aurasma (un estudio). (Ocho estudios no especificaron la herramienta de construcción utilizada).

La mayor parte de los tipos de aplicación empleados fueron de exploración (13), que a su vez se dividieron en libros aumentados (2), marcadores aumentados (7) y el uso de un punto de interés para obtener información digital añadida (4). Les siguieron las herramientas de simulación (12), y los juegos (2).

En cuanto al tipo de herramientas de RA utilizadas, en el 71,4 % de las intervenciones se utilizó tecnología AR basada en marcadores, mientras que el 25 % se basó en la ubicación. El 46,4 % de los estudios revisados utilizaba texto, casi la mitad (42,8 %) utilizaba imágenes en 2D, casi un tercio de las aplicaciones (32,1 %) utilizaba animaciones, y en el 28,5 % de las aplicaciones se utilizaban objetos y vídeos en 3D. También hubo aplicaciones que proporcionaron información de audio (10,7%) y aplicaciones que conectaron el mundo real con la World Wide Web (7,1%).

Saltan & Arslan (2017) encontraron que la mayoría de los estudios analizados habían utilizado tecnología basada en marcadores (11), seguidos de los basados en geolocalización (4), imágenes (3), impresiones (3), gestos (2), y tacto (1).

Pellas et al. (2019a), por su parte, señalan en su trabajo que la mayoría de los estudios revisados utilizaron RA basada en marcadores (50 % en educación primaria y 75 % en educación secundaria), lo que indica, según ellos, que es probable que la mayoría de las aplicaciones educativas de RA los utilicen. Una posible explicación podría ser que el proceso de seguimiento de los marcadores es más eficaz y más estable en comparación con las técnicas de seguimiento sin marcadores disponibles en la actualidad. La implementación de RA basada en marcadores también es relativamente más fácil debido a la disponibilidad de varias bibliotecas que respaldan el proceso de desarrollo. El uso de marcadores estáticos disminuye el trabajo de seguimiento requerido y reduce la cantidad de objetos que deben detectarse. Por lo tanto, los autores recomiendan el uso de marcadores con fines educativos para brindarles a los estudiantes una mejor experiencia de aprendizaje hasta que se desarrollen técnicas de seguimiento superiores, rentables y más confiables para RA sin marcadores.

2.4.5. Evaluación de las actividades didácticas basadas en RA

En el estudio de Ibáñez & Delgado-Kloos (2018) se encontraron cuatro categorías de evaluación de las actividades didácticas basadas en RA:

- Evaluación de los efectos del aprendizaje con RA (25 estudios).
- Evaluación del nivel emocional durante el aprendizaje con RA (15 estudios).
- Evaluación de la influencia de las características del alumno en el proceso de aprendizaje con RA (4 estudios).
- Evaluación del impacto del diseño de un sistema de RA para el aprendizaje (5 estudios).

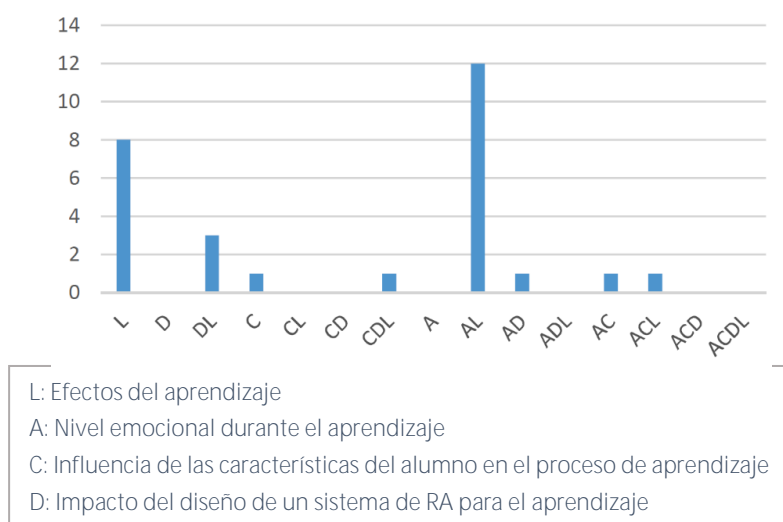


Figura 2-37: Evaluación de actividades didácticas basadas en RA (Fuente: Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018)

Las variables con las que se evaluó el nivel emocional de los estudiantes durante el aprendizaje con RA fueron las siguientes:

- Motivación (7 estudios)
- Actitud (5 estudios)
- Disfrute (4 estudios)
- Implicación (4 estudios)
- Satisfacción (2 estudios)
- Inmersión (1 estudio)
- Fluidez (1 estudio)
- Interés (2 estudios)

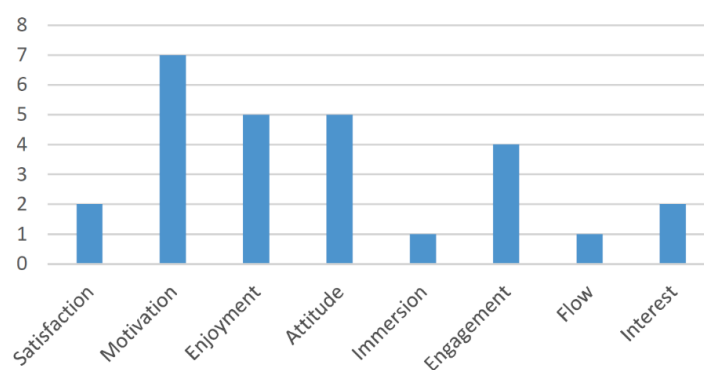


Figura 2-38: Evaluación emocional durante el aprendizaje con RA (Fuente: Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018)

En cuanto a los efectos sobre el aprendizaje, el resultado cognitivo evaluado en la mayoría de los estudios cuantitativos fue la adquisición de conocimiento. Sin embargo, las evaluaciones se realizaron con cuestionarios ad-hoc elaborados por los autores, que evaluaron resultados cognitivos de bajo nivel (los procesos cognitivos más simples establecidos en la taxonomía revisada de Bloom⁹: recordar y comprender) durante breves períodos de tiempo. Como concluyen los autores del estudio, si bien estos resultados son alentadores, se espera que una tecnología interactiva como la RA, con capacidades comprobadas para involucrar a los estudiantes en actividades de aprendizaje, también pueda fomentar resultados cognitivos de alto nivel como el pensamiento crítico, la resolución de problemas, la colaboración y el aprendizaje autodirigido.

En el trabajo de Herpich et al. (2019) se señala que, en los estudios analizados, las actividades didácticas basadas en RA se evaluaron en base a los siguientes criterios:

- Aprendizaje (47 estudios)
- Aceptación de tecnología (13 estudios)
- Usabilidad (12 estudios)
- Motivación (11 estudios)
- Inmersión (5 estudios)
- Actitudes de los participantes (5 estudios)

⁹ Para más información sobre la taxonomía de Bloom y sus actualizaciones:
<https://eduteka.icesi.edu.co/articulos/TaxonomiaBloomCuadro>

- Comportamiento de los participantes (5 estudios)
- Satisfacción (5 estudios)
- Afectividad (4 estudios)
- Implicación (4 estudios)
- Experiencia del usuario (4 estudios)
- Placer (2 estudios)
- Retos (1 estudio)
- Capas cognitivas (1 estudio)
- Carga cognitiva (1 estudio)
- Competencia (1 estudio)
- Pensamiento crítico (1 estudio)
- Atención (1 estudio)
- Diversión (1 estudio)
- Interés (1 estudio)

El aprendizaje fue el criterio más evaluado (47 estudios). Uno de los principales temas enumerados y abordados en los estudios analizados fue la ganancia de aprendizaje resultante de las metodologías basadas en la RA, ya que la evaluación del impacto en los procesos de enseñanza y aprendizaje de los participantes al utilizar estas metodologías es importante para identificar las contribuciones y, principalmente, las oportunidades de mejora que estos enfoques pueden aportar al aprendizaje de los estudiantes.

Además del aprendizaje, otros criterios también fueron considerados en las evaluaciones, como la usabilidad (12 estudios), en la que el objetivo es evaluar la experiencia de los usuarios en el uso de la aplicación, buscando implementar mejoras en la metodología adoptada. Este proceso está intrínsecamente ligado al tema de la motivación del usuario (11 estudios) y la aceptación del uso de este tipo de tecnología (13 estudios). Estos factores son considerados en las evaluaciones debido a que una experiencia de usuario positiva implica un posible aumento de la motivación para seguir utilizando la aplicación móvil de RA en su educación.

En el trabajo de Pellas et al. (2019b), en el que se analizaron 21 estudios publicados desde 2002 hasta 2018 en 18 revistas internacionales revisadas por pares, con 11 y 10 estudios sobre educación primaria y secundaria (respectivamente), se concluyó que la mayoría de los estudiantes que habían utilizado técnicas de RA habían logrado una mejora significativa en el aprendizaje, los resultados y el rendimiento, respecto a aquellos que habían utilizado formatos de instrucción tradicionales.

Un tipo de evaluación importante es el de la idoneidad de las diferentes herramientas de RA en ámbito educativo en base a los resultados de aprendizaje obtenidos. En el trabajo de Ozdemir et al. (2018), en el que se examinaron 16 estudios realizados entre 2007 y 2017 para identificar el efecto de las aplicaciones de RA en el proceso de aprendizaje, se concluye que existen diferencias significativas entre los efectos de las aplicaciones de RA en el rendimiento académico de los estudiantes en relación a los dispositivos de visualización utilizados. Concretamente, se afirma que el efecto de las aplicaciones de RA sobre el éxito académico en el proceso de aprendizaje es positivo cuando se relaciona con la variable «dispositivos móviles», y que el uso de dispositivos móviles para mostrar aplicaciones de RA aumentó el éxito académico de los estudiantes en el proceso de aprendizaje en comparación con el uso de métodos de aprendizaje tradicionales (libros de texto, diapositivas).

2.4.6. Beneficios de las aplicaciones de RA en la educación

En el estudio de Akçayır & Akçayır (2017) se advierte de que, antes de discutir las ventajas de la RA, es importante tener en cuenta que, en la mayoría de los estudios revisados, la RA que se usó fue una tecnología nueva. Por ello, si algunas ventajas de la RA fuesen debidas a un efecto de novedad, podrían disminuir a medida que los estudiantes se fuesen familiarizando más con ella.

En general, uno de los beneficios más significativos de la RA, que se evidencia de manera transversal en todos los trabajos, es su capacidad única de crear entornos de aprendizaje híbridos e inmersivos que combinan objetos digitales y físicos, lo que facilita el desarrollo de habilidades como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la comunicación a través de actividades colaborativas.

Respecto a los resultados de aprendizaje del alumno, este trabajo concluye que la mayoría de los estudios evidenciaban que la tecnología RA en la educación conducía a una mejora de los resultados del aprendizaje en entornos educativos, y que los estudiantes adoptaron una actitud positiva hacia las actividades de aprendizaje mejoradas con RA. Se observó que proporcionar materiales relevantes bien integrados y organizados (por ejemplo, imágenes, textos, videos) podía ayudar a prevenir cargas cognitivas incidentales. Esto ayudaba a mejorar el rendimiento de aprendizaje de los estudiantes. Los estudios también indicaron que la RA podía mejorar la motivación del aprendizaje, ayudar a los estudiantes en su comprensión de la materia, promover una actitud positiva y mejorar la satisfacción general durante el aprendizaje. Se señala, además, que algunos investigadores evidenciaron resultados de aprendizaje específicos relacionados con la RA, como disminución de la carga cognitiva en la memoria de trabajo y la mejora de la capacidad espacial.

En relación a los aportes pedagógicos de la RA, llega a la conclusión de que las contribuciones más destacadas del empleo de recursos basados en la RA fueron la mejora del disfrute de la experiencia de aprendizaje y el aumento del nivel de implicación de los estudiantes. A través del empleo de la RA se pudo conseguir que la instrucción resultase más entretenida. También se consiguió que los estudiantes participasen más y rindiesen mejor. Permitted al maestro asignar responsabilidades a los estudiantes y esto los llevó a tomar sus propias decisiones. Estas contribuciones mejoraron su participación. En general, se constató que el empleo de la RA aumentó el interés por aprender; los estudiantes mantuvieron niveles más altos de concentración cuando usaron la RA.

Por último, en cuanto a la interacción, el estudio de Akçayır & Akçayır señala que casi el 10% de los estudios revisados revelaron que la tecnología de RA promueve una mayor interacción entre los estudiantes, y más entre los estudiantes y el material de aprendizaje, facilitando así el «aprender haciendo». Se observó que la tecnología de RA era útil para apoyar visualmente a los estudiantes y para permitirles visualizar conceptos intangibles o abstractos y fenómenos no observables.

El trabajo de Saltan & Arslan (2017) evidencia una mejora en los resultados educativos de los estudiantes con respecto a numerosas dimensiones: comprensión de la información (6), logros académicos (6), interés (5), atención (3), motivación (3), satisfacción (3), autonomía (3), implicación (2), disfrute (2), y retención (1). Constata también una mejora general en la comprensión/adquisición de conocimientos (9), el desarrollo de conceptos (5) y la retención de conocimientos (1).

En el estudio de Garzón et al. (2019), los resultados indican que la RA tiene un tamaño del efecto medio sobre la efectividad del aprendizaje ($d = .64$, $p < .001$). Significativamente, la totalidad de los estudios seleccionados reportaron algún tipo de beneficio al utilizar sistemas de RA en educación.

La Tabla 2-1 resume los beneficios señalados en los 61 estudios analizados. Es importante aclarar que estos son solo algunos de los beneficios que aparecían con más frecuencia en los estudios, pero que la mayoría señalaron más de uno.

Beneficios	Número de estudios	Porcentaje %
Mejoras del aprendizaje	51	83.6
Motivación	46	75.4
Comprensión de conceptos abstractos	16	26.2
Autonomía	16	26.2
Implicación sensorial	14	23.0
Retención	9	14.8
Colaboración	8	13.1
Creatividad	4	6.6
Accesibilidad	3	4.9

Tabla 2-1: Beneficios de la RA en la educación. (Fuente: Garzón et al., 2019)

Como se constata el estudio, la mejora del aprendizaje es el beneficio más señalado. Los estudios mostraron que, al usar sistemas de RA, los estudiantes mejoraban su rendimiento académico. Esta mejora fue puesta de manifiesto no solo por los datos, sino también por referencias de diferentes docentes y de los propios estudiantes.

La motivación es el segundo beneficio más señalado. Los estudios mostraron que los estudiantes se sintieron más motivados al usar aplicaciones de RA, en comparación con otras herramientas pedagógicas. La motivación puede ser una consecuencia directa de otro beneficio muy importante señalado en los estudios seleccionados: la implicación sensorial, entendida como la manera en la que los estudiantes aprenden en su modo natural, usando varios de sus sentidos en un proceso constructivo. La Implicación sensorial (también denominada Aprendizaje multisensorial) activa múltiples sentidos en el cerebro de los alumnos mejorando la retención del conocimiento, lo que es una gran ventaja en el proceso de aprendizaje.

Otra ventaja común señalada en los estudios seleccionados tuvo que ver con la ayuda en la comprensión de conceptos abstractos. Los estudios mostraron que la RA es idónea para explicar cosas que no se pueden observar a simple vista.

La retención de la memoria también aparece como un beneficio del uso de la RA en entornos educativos. Esta tecnología no solo ayuda a preservar el conocimiento, sino que también le brinda al estudiante la posibilidad de hacerlo por períodos de tiempo más prolongados en comparación con otras metodologías pedagógicas. La RA proporciona tres elementos importantes que contribuyen a la retención y que favorecen la memoria a largo plazo en el cerebro humano: anotación del mundo real, visualizaciones contextuales y visualizaciones hápticas (Garzón et al., 2019).

La autonomía es otro beneficio importante descrito en los estudios seleccionados. La combinación de mundos reales y virtuales aumenta la autonomía de los estudiantes debido a sus habilidades naturales y a la motivación por el uso de dispositivos tecnológicos.

La colaboración también apareció como un gran beneficio. La RA crea posibilidades de aprendizaje colaborativo en torno a contenidos virtuales que pueden facilitar el aprendizaje, ya que permite a los alumnos interactuar con sus compañeros, así como con el contenido educativo.

El estudio de Ibáñez & Delgado-Kloos (2018), que analiza cuantitativamente el nivel emocional de los estudiantes durante el aprendizaje con RA, señala que la tecnología de RA fomenta estados afectivos positivos de los estudiantes –como la motivación, el compromiso y la implicación–, que han demostrado ser efectivos para promover los beneficios del aprendizaje.

En el estudio de Garzón & Acevedo (2019), se concluye que las ganancias de aprendizaje son mayores cuando se usan aplicaciones de RA en comparación con otros recursos educativos. Usar tecnologías de RA, según este estudio, es más efectivo que usar otras estrategias pedagógicas, incluidos otros recursos tecnológicos, clases expositivas, y recursos pedagógicos tradicionales.

Pellas et al. (2019a) llevaron a cabo una revisión sistemática de la literatura sobre los enfoques de RA combinada con Aprendizaje Basado en el Juego en la educación obligatoria considerando las ventajas, desventajas, posibilidades de instrucción y/o efectividad en varias materias de educación primaria y secundaria. En total, se analizaron 21 estudios publicados entre 2012 y 2017 en 11 revistas indexadas, siendo 14 estudios los centrados en educación primaria y 7 en secundaria. En esta revisión se concluyó que el contenido aprendido a través de las tecnologías de RA puede beneficiar la memoria a largo plazo, las habilidades de resolución de problemas, el entusiasmo, la motivación y las habilidades de colaboración de los estudiantes, así como aumentar el rendimiento del aprendizaje, la interacción y la satisfacción del aprendizaje. Concretamente, la mitad de los estudios de educación primaria analizados habían encontrado que las aplicaciones de RA combinadas con el Aprendizaje Basado en Juegos habían dado como resultado un mejor rendimiento y/o ganancias de aprendizaje en los entornos educativos. Además, el 21,4 % de los estudios sugería aumentos en la motivación y la implicación, y el 14,3 % señalaba mejoras tanto en la percepción y las actitudes positivas como en la interacción/socialización/colaboración de los estudiantes.

Hallazgos similares provinieron de la educación secundaria. El 57,1% de los estudios constataron un mejor rendimiento de aprendizaje y/o ganancias de aprendizaje. El 28,6 % señaló un aumento en la motivación y el compromiso, el 14,3 % un aumento en las actitudes positivas, y el 14,3 % un aumento en la interacción/socialización/colaboración de los estudiantes.

Kairu (2021), por su parte, identifica cuatro beneficios principales del empleo de la RA en la educación:

- Alta implicación de los estudiantes. El aprendizaje interactivo por medio de RA puede tener un impacto positivo en los alumnos. Estos participan durante todo el proceso de aprendizaje, desarrollan una mayor concentración debido a la interactividad y el aprendizaje les resulta más divertido y fácil.
- Desarrollo de habilidades colaborativas. Crear lecciones participativas por medio de la RA ayuda a acercar a los alumnos a temas que se verían de otro modo como poco interesantes o complicados. Las lecciones interactivas en las que todos los estudiantes participan en el aprendizaje ayudan a mejorar, de manera natural, sus habilidades de trabajo en equipo y de

colaboración. Los estudiantes aprenden a priorizar tareas, compartir responsabilidades y comunicarse de manera efectiva para conseguir diferentes objetivos.

- Mayor rendimiento de aprendizaje. Los estudiantes alcanzan mejor sus objetivos de aprendizaje a través de la inmersión completa y la visualización del material de aprendizaje que ofrece la RA. La investigación muestra que aprender usando objetos visuales ayuda a entender y procesar la información. El conocimiento obtenido a partir de experiencias de RA resulta más significativo para los estudiantes, lo que se traduce en que la información que permanece en la memoria a corto plazo sea superior a la correspondiente obtenida a partir de lecciones expositivas tradicionales. La RA ayuda a los alumnos a aplicar elementos prácticos a los conceptos teóricos aprendidos, ya que pueden ver virtualmente el efecto de simulaciones basadas en la teoría aprendida.
- Mejoras cognitivas. En general, se considera que la RA reduce la carga de trabajo mental, mejora el rendimiento, reduce la tasa de error y aumenta la precisión durante la ejecución de tareas. Los modelos 3D de RA facilitan la representación mental y la cognición espacial, haciendo que la información sea más fácil de entender y que la carga de trabajo mental necesaria para la visualización de tareas y las actividades de aprendizaje se reduzca.

2.4.7. Inconvenientes de las aplicaciones de RA en la educación

Como señalan Akçayır & Akçayır (2017), algunos investigadores han llamado la atención sobre las limitaciones asociadas con la RA, como el hecho de que los estudiantes la pueden encontrar complicada, o el hecho de que a menudo se pueden producir problemas técnicos. Sin una interfaz bien diseñada y una buena guía de uso para los estudiantes, la tecnología de RA puede resultar demasiado complicada. Aparte de las limitaciones técnicas, además, algunos estudios evidencian que se requiere un tiempo de aprendizaje adicional excesivo para usar la RA de manera efectiva en la educación.

En el estudio de Garzón et al. (2019), el quince por ciento de los trabajos analizados señalaron algunos inconvenientes o problemas al usar la RA en entornos educativos. La Tabla 2-2 resume los principales:

Inconvenientes	Número de estudios	Porcentaje %
Complejidad	6	9.5
Dificultades técnicas	5	7.9
Multitarea / Carga cognitiva	4	6.3
Resistencia de los profesores	2	3.2

Tabla 2-2: Inconvenientes de la RA en la educación. (Fuente: Garzón et al., 2019)

Como señala el estudio, el inconveniente más destacado se refiere a la complejidad implícita de la RA, especialmente cuando se aplica a niños. Al ser una tecnología novedosa, que involucra múltiples sentidos, se convierte en ocasiones en una herramienta muy compleja, sobre todo para quienes no tienen habilidades tecnológicas.

Los docentes que participaron en algunos estudios manifestaron tener dificultades técnicas al usar la RA en sus clases. Esto puede deberse a la escasa formación técnica por parte de algunos docentes para el manejo de los sistemas de RA, lo que podría limitar su uso en entornos educativos.

Otro problema relacionado con los sistemas de RA es la multitarea, que conlleva un aumento de la carga cognitiva. Algunos estudiantes expresaron que las aplicaciones de RA exigen demasiada atención, lo que puede ser un factor de distracción. Esto puede hacer que los estudiantes ignoren instrucciones o etapas importantes de la experiencia. Esta apreciación puede resultar contradictoria con los resultados de otros estudios que constataban una reducción de la carga cognitiva mediante el empleo de la RA (Kairu, 2021). Podemos interpretar estos resultados considerando que la RA tiene el potencial de reducir la carga cognitiva de los estudiantes, pero que su efecto final dependerá del diseño específico de cada recurso, pudiendo llegar a ser incluso contraproducente.

Finalmente, la resistencia de los docentes aparece como una posible dificultad para implementar la RA en entornos educativos. Algunos profesores pueden preferir tener un control total sobre los contenidos y los materiales didácticos, a pesar de reconocer los beneficios de usar aplicaciones de RA.

En el estudio de Ibáñez & Delgado-Kloos (2018) se identificaron tres inconvenientes en el empleo de la RA:

- Los estudiantes (y en ocasiones los profesores) necesitaban una capacitación previa en el uso de la tecnología de RA antes de usarla en las actividades de aprendizaje.
- Problemas técnicos: el sistema no proporcionaba retroalimentación inmediata, era lento o la interfaz no era intuitiva.
- Distracción del estudiante, probablemente causada por el efecto novedad.

Por su parte, Kairu (2021) identifica cuatro problemáticas asociadas con la RA:

- Falta de preparación. Los educadores pueden tener dificultades para aplicar las nuevas tecnologías de RA debido a la falta de capacitación necesaria y de instrucciones explícitas sobre su uso. Necesitan conocimientos especializados sobre cómo el software y el hardware son interdependientes para crear contenidos didácticos que satisfagan las necesidades de los alumnos, sobre cómo personalizar interfaces para facilitar su uso, y sobre cómo implementar métodos de evaluación efectivos. Los aspectos que deben evaluarse después de usar aplicaciones de RA en las tareas asignadas podrían ser si la información se empleó correctamente, y si hubo un cambio en el rendimiento del alumno, el nivel de interactividad con el contenido de aprendizaje y el entorno de aprendizaje. Pero la capacitación requiere tiempo, y los educadores no suelen tenerlo para actividades de formación.
- Dependencia de dispositivos electrónicos. La RA requiere una base tecnológica y electrónica. Por lo tanto, los estudiantes deben tener, por ejemplo, un teléfono inteligente, una tableta o un ordenador de escritorio que admita la aplicación de RA. Desafortunadamente, esto puede no ser posible para todos los estudiantes, lo que genera un alto gasto tanto para el estudiante como para la institución educativa.
- Rendimiento y compatibilidad de los dispositivos. Las aplicaciones de RA deberían funcionar en todos los dispositivos y plataformas para tener un acceso asegurado a todos los contenidos y recursos de aprendizaje. Sin embargo, no siempre es posible proporcionar el mismo contenido, de manera satisfactoria, en cualquier dispositivo (por ejemplo, el

contenido de la interfaz del teléfono inteligente podría verse de manera diferente al de una tableta, un ordenador portátil o uno de escritorio). La visualización de información tridimensional (3D) de alta definición, que requiere un hardware de altas prestaciones, no siempre está al alcance de todos los dispositivos.

- Comodidad. Algunas aplicaciones de RA requieren el uso de dispositivos aplicados sobre el cuerpo que pueden hacer que la experiencia no resulte cómoda al usuario. Puede ser el caso de algunas pantallas 3D estereoscópicas, como las de cristal líquido (LCD), que requieren el uso de gafas o de dispositivos montados en la cabeza que pueden resultar molestos, o de guantes que recojan el movimiento de las manos para interactuar con el entorno virtual.

2.4.8. Retos de las aplicaciones de RA en la educación

Akçayır & Akçayır (2017) apuntan a que el reto más destacado es que la RA es en ocasiones difícil de usar para los estudiantes. La usabilidad es un factor técnico importante que afecta la eficacia educativa. Por ejemplo, sin interfaces bien diseñadas, los estudiantes pueden experimentar dificultades al usar esta tecnología. Las dificultades derivadas de una deficiente usabilidad pueden causar una pérdida de tiempo para los estudiantes y pueden requerir un tiempo de clase adicional excesivo.

Otro desafío que debe tenerse en cuenta en un entorno de aprendizaje de RA, según estos autores, es la reducción de la sobrecarga cognitiva de los estudiantes. Los estudiantes pueden experimentar una sobrecarga cognitiva en un entorno de aprendizaje de RA debido a la excesiva cantidad de material y a la complejidad de las tareas.

Para Garzón et al. (2019), como tecnología en desarrollo, la RA tiene algunas barreras que superar, como la usabilidad, la resistencia de los profesores y la sobrecarga cognitiva.

Según el estudio de Avila-Garzon et al. (2021), un reto fundamental de la RA es conseguir una penetración persistente en la red de escuelas públicas, posibilitando que todos los estudiantes puedan tener acceso a las tecnologías necesarias para implementar las experiencias de aprendizaje basadas en esta tecnología.

3. *Merge Cube*

Merge Cube es un activador de RA y Mixta basado en marcadores. Consiste en un cubo que, por sus medidas, permite que se pueda sujetar con una mano, y que tiene en sus caras una serie de códigos que funcionan como marcadores¹⁰ (Figura 3-1).



Figura 3-1: Un modelo de *Merge Cube* construido con cartulina. (Fuente: elaboración propia)

Este objeto se complementa con una aplicación, que debe ser instalada en un dispositivo móvil (teléfono inteligente o tableta), que interpreta la posición relativa de dichos marcadores recogida por la cámara del dispositivo y que devuelve la imagen de un objeto tridimensional dinámico cuyo movimiento y orientación están vinculados con los del cubo. De esta manera, permite una visualización interactiva de objetos 3D que simula la de un dispositivo holográfico. La aplicación con la que funciona *Merge Cube* utiliza el kit de RA *Vuforia*¹¹ de Qualcomm.

El cubo se puede construir con diferentes materiales y medidas, y existen plantillas gratuitas para imprimir¹². La aplicación de visualización para dispositivos móviles, *Object Viewer*, está desarrollada por la empresa Merge Labs a través de *Merge EDU*, una plataforma de RA/RV para el aprendizaje STEM y la creación digital que incluye actividades, lecciones, y un panel de control para profesores. Otra aplicación disponible en la plataforma, *Merge Explorer*, permite la búsqueda y gestión de estos contenidos. Ambas aplicaciones están disponibles para teléfonos inteligentes y tabletas en sistemas operativos iOS o Android¹³ (Figura 3-2).

¹⁰ Para más información sobre *Merge Cube*:
<https://mergeedu.com/cube>

¹¹ Para más información sobre *Vuforia*:
<https://www.ptc.com/en/products/vuforia>

¹² Hay una plantilla disponible en la web de la empresa desarrolladora:
<https://support.mergeedu.com/hc/en-us/articles/360052933492-Making-a-Merge-Paper-Cube>

¹³ Para más información sobre la plataforma *Merge EDU*:
<https://support.mergeedu.com/hc/en-us/articles/360061597232-Getting-Started-Welcome-to-Merge-EDU>

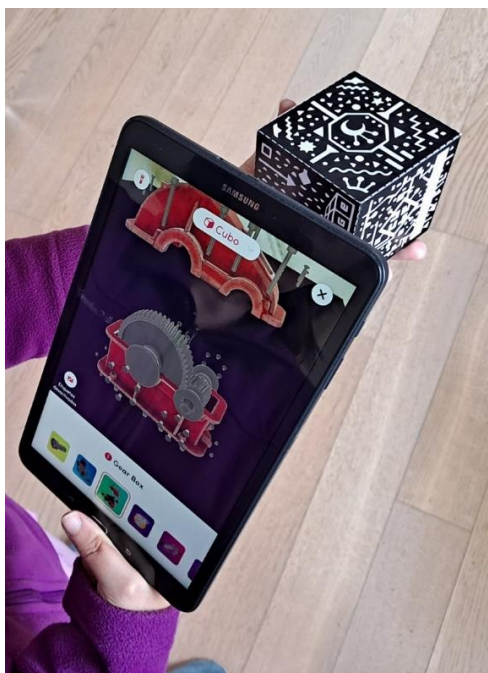


Figura 3-2: Empleo de *Merge Cube* con la aplicación *Object Viewer*. (Fuente: elaboración propia)

Merge Cube, además, ofrece la posibilidad de integración con entornos virtuales inmersivos a través de la modalidad RV por medio del dispositivo *Merge Headset*¹⁴ (Figura 3-3).



Figura 3-3: Dispositivo de RV Merge Headset. (Fuente: mergeedu.com)

3.1. Integración de *Merge Cube* con otras plataformas y aplicaciones

Merge Cube se integra con la plataforma de RV *CoSpaces Edu*¹⁵, que permite crear proyectos propios como simulaciones, objetos 3D, juegos o narraciones¹⁶.

¹⁴ Para más información sobre el dispositivo *Merge Headset*:
<https://mergeedu.com/headset>

¹⁵ Para más información sobre la plataforma *CoSpaces Edu*:
<https://cospaces.io/edu/>

¹⁶ Para más información sobre los proyectos para *Merge Cube* que se pueden desarrollar con la plataforma *CoSpaces Edu*:
<https://cospaces.io/edu/merge-cube-mode.html>

La aplicación *Qlone*¹⁷ permite escanear objetos reales con un dispositivo móvil y convertirlos en objetos digitales 3D que pueden ser subidos a la aplicación *Object Viewer*.

3.2. Evaluación del empleo de *Merge Cube* en la didáctica

Debido al reducido periodo de tiempo que ha pasado desde la aparición de *Merge Cube*, todavía no existe una amplia literatura científica sobre su impacto en la educación. Destaca el estudio de Taufiq et al. (2021a), que tiene como objetivo determinar el grado de aplicabilidad de *Merge Cube* en el material didáctico de Ciencias, especialmente para los profesores de Secundaria. Este estudio se llevó a cabo mediante una encuesta descriptiva realizada a 41 profesores de 13 institutos diferentes, y los datos se obtuvieron a partir de pruebas de campo utilizando cuestionarios relacionados con la facilidad de uso de la aplicación, el logro de los objetivos de aprendizaje, y la efectividad de *Merge Cube* como herramienta de ayuda a los maestros para llevar a cabo actividades de aprendizaje de Ciencias. Según los datos del estudio, los encuestados tenían mucha confianza en poder aplicar los recursos de *Merge Cube* en el aprendizaje de Ciencias (nivel de aplicabilidad del 87.8%: muy bueno); estaban muy seguros de poder lograr los objetivos de aprendizaje al desarrollar los recursos de aprendizaje con *Merge Cube* (nivel de aplicabilidad del 82.9%: muy bueno); y creían firmemente que los recursos de *Merge Cube* los ayudaban de una manera efectiva a realizar actividades de aprendizaje de Ciencias (nivel de aplicabilidad del 90.3%: muy bueno).

Por otra parte, y en relación a las carencias que actualmente tiene *Merge Cube*, en el estudio de Taufiq et al. (2021b) se señala que a pesar de que tiene un gran potencial en la educación, actualmente cuenta con varias limitaciones, como las relacionadas con la ergonomía durante un uso prolongado, los costos relativamente altos de adopción y uso (sobre todo los relacionados con la suscripción a la plataforma Merge Edu), y la escasa disponibilidad de contenidos.

3.3. La elección de *Merge Cube* para el presente trabajo

Se ha elegido el recurso *Merge Cube* para desarrollar una propuesta didáctica dentro de la unidad *Máquinas y mecanismos* de la asignatura de Tecnología de 3º de la ESO en base a:

- Las cualidades manipulativas e interactivas que ofrece. Se trata de un objeto que se maneja directamente con una sola mano (dejando la otra libre), sin dispositivos intermedios.
- El empleo de marcadores. Pellas et al. (2019a) recomiendan el uso de marcadores con fines educativos para brindarles a los estudiantes una mejor experiencia de aprendizaje hasta que se desarrollen técnicas de seguimiento superiores, rentables y más confiables para RA sin marcadores.
- Su buena integración con otras aplicaciones y plataformas de desarrollo.
- La existencia de librerías gratuitas sobre mecanismos sencillos similares a los estudiados en la asignatura.
- La posibilidad de acceder a la plataforma con dispositivos electrónicos como teléfonos inteligentes o tabletas.
- Su facilidad de uso tanto para profesores como para estudiantes.
- Su evaluación favorable como herramienta didáctica (Taufiq et al., 2021a).

¹⁷ Para más información sobre la aplicación Qlone:
<https://www.qlone.pro/>

4. Valoración de la idoneidad de *Merge Cube* como herramienta didáctica en el aula de Tecnología

Para llevar a cabo una valoración sobre la idoneidad de *Merge Cube* como herramienta didáctica en el aula de Tecnología, en primer lugar, se presentará una elaboración propia de materiales didácticos desarrollados específicamente para su empleo en la unidad Máquinas y mecanismos de la materia de Tecnología y digitalización de tercero de ESO, dentro del nuevo marco normativo de la LOMLOE. Estos materiales permitirán al docente plantear a los estudiantes diversas actividades basadas en el empleo de *Merge Cube*, y realizar la posterior evaluación de los resultados de aprendizaje obtenidos.

Seguidamente, se propondrá un diseño experimental que permita comparar los resultados de aprendizaje logrados con el empleo de *Merge Cube* (en un entorno de RA), con los adquiridos por medio de métodos basados en diferentes entornos del *Continuo de la virtualidad*¹⁸: mecanismos reales (entorno real), y vídeos, tanto tradicionales como de RA (entorno virtual).

Para terminar, se expondrán las conclusiones del trabajo.

4.1. Propuesta didáctica

Como se señalaba en la introducción, la mayoría de los recursos de RA a disposición de los docentes no han sido concebidos y desarrollados teniendo en cuenta un encaje curricular concreto, que se base en unos enfoques pedagógicos precisos, y que se aplique a través de unas metodologías apropiadas (Garzón et al., 2019). Esta falta de información, según los autores citados, tiene como consecuencia que las investigaciones llevadas a cabo para analizar el empleo de la RA en ámbito educativo carezcan, por lo general, de una evaluación sobre la incidencia de estas variables en los resultados de aprendizaje alcanzados. Es por ello que en este trabajo se quiera hacer una mención explícita del marco teórico, legislativo y curricular bajo el que han sido concebidos los materiales didácticos planteados.

4.1.1. Marco teórico. Teoría del aprendizaje y metodología

La teoría del aprendizaje en la que se basa esta propuesta didáctica es el constructivismo. Sus planteamientos son los siguientes (Garzón et al., 2020):

- El constructivismo establece que las personas construyen activamente el conocimiento y que la realidad está determinada por la experiencia del alumno. La idea central del constructivismo es que el conocimiento no se transmite del profesor al alumno, sino que es un proceso activo de construcción por parte de este último. Esto implica que los estudiantes construyen nuevos conocimientos sobre su conocimiento previo y que el conocimiento previo influye en el nuevo conocimiento que un alumno construirá a partir de nuevas experiencias de aprendizaje.
- Otra noción importante del constructivismo es que el aprendizaje es un proceso activo más que pasivo. Una visión pasiva de la enseñanza ve al alumno como un recipiente vacío que debe llenarse con conocimiento, mientras que el constructivismo sostiene que los alumnos construyen el significado a través del compromiso activo con el entorno.

¹⁸ Véase el Apartado 2. *Qué es la Realidad Aumentada*.

- Además, para el constructivismo, el aprendizaje es una actividad social. El mundo social de un alumno incluye a las personas que influyen en su vida, como familiares, amigos, maestros, legisladores y otros. Este entorno social juega un papel central en la construcción de significado por parte del alumno y, por lo tanto, el aprendizaje puede describirse como un proceso colaborativo.
- Aunque el aprendizaje se describe como una actividad social, todo conocimiento es personal, es decir, cada individuo que aprende tiene un punto de vista distintivo, basado en el conocimiento existente y las experiencias previas. Esto significa que las mismas actividades, métodos de enseñanza y lecciones pueden resultar en un aprendizaje diferente para cada estudiante, porque sus interpretaciones de las cosas y las ideas pueden diferir.

Hay varios métodos pedagógicos en los que se basan las actividades que utilizan la RA que se derivan de los principios del constructivismo. Todos ellos implementan estrategias similares en las intervenciones educativas, tales como considerar a los estudiantes como los protagonistas del proceso de aprendizaje, utilizar estructuras de soporte, incluir varios escenarios de aprendizaje, considerar altas habilidades de pensamiento y enfocarse en problemas reales. No obstante, cada uno tiene características únicas que lo distinguen de los demás.

La propuesta didáctica desarrollada aquí estará basada en la metodología del Aprendizaje colaborativo (AC). El AC es un método de aprendizaje basado en el trabajo en equipo de los estudiantes. Incluye diversas y numerosas técnicas en las que los alumnos trabajan conjuntamente para lograr determinados objetivos comunes de los que son responsables todos los miembros del equipo, y plantea situaciones en las que se espera que ocurran formas particulares de interacción entre las personas, desencadenando así mecanismos de aprendizaje (Servicio de Innovación Educativa de la UPM, 2008).

Se basa en la noción de Vygotsky de la naturaleza social del aprendizaje, cuya idea básica es que hay que promoverlo a través de situaciones que no son posibles con modelos de educación altamente competitivos (Garzón et al., 2020). En una situación de aprendizaje cooperativo el grupo de alumnos tiene que trabajar conjuntamente porque los objetivos comunes solo se lograrán si cada miembro del equipo consigue los suyos propios.

Johnson, Johnson y Holubec (1999), señalan que son cinco los elementos básicos que forman el AC:

- La interdependencia positiva.
- La interacción «cara a cara» o simultánea.
- La responsabilidad individual.
- Las habilidades sociales.
- La autoevaluación del grupo.

El aprendizaje cooperativo promueve una serie de valores y habilidades muy distintos a los que fomentan los aprendizajes individual y competitivo. Como señala Prieto (2007): «aprender cooperativamente representa una ocasión privilegiada para alcanzar objetivos de aprendizaje muy diversos, no solo referidos a los contenidos, sino también orientados al desarrollo de habilidades y destrezas interpersonales, con claros beneficios para el aprendizaje de los alumnos» (p. 15).

Las competencias desarrolladas durante actividades basadas en el AC son múltiples (Apodaca, 2006):

- Comprensión profunda de conceptos abstractos esenciales para la materia.
- Resolución creativa de problemas.
- Búsqueda, selección, organización y valoración de la información.
- Habilidades interpersonales.
- Expresión oral.
- Adaptación y aplicación de conocimientos a situaciones reales.
- Organización/gestión personal.
- Resumir y sintetizar.

Y, en base a estas competencias, según Benito y Cruz (2005), los principales beneficios que se obtienen con el AC son:

- Desarrollo de habilidades interpersonales y de trabajo en equipo.
- Responsabilidad, flexibilidad y autoestima.
- Puede generar redes de apoyo para los alumnos con riesgo de exclusión.
- Desarrollo de habilidades intelectuales de alto nivel.
- Promueve el aprendizaje profundo frente al superficial o memorístico.
- Trabajo de todos: cada alumno tiene una parte de responsabilidad de cara a sus compañeros.
- Genera mayor entusiasmo y motivación.

Para aumentar la posibilidad de que se materialicen el tipo de interacciones requeridas en el AC, es necesario que el profesor establezca diferentes pautas:

- Unas condiciones iniciales en las actividades colaborativas.
- Especificar el rol de cada participante.
- Especificar las reglas de interacción y colaboración.
- Monitorear y regular la interacción.

Según Garzón et al. (2020), tecnologías como la RA mejoran los resultados de aprendizaje en entornos colaborativos, especialmente en el aprendizaje de ciencias. De hecho, como se señala en su trabajo, el AC es la única metodología pedagógica que tuvo un gran efecto en los resultados de aprendizaje de los estudiantes. Una de las prestaciones más notorias del AC en la tecnología educativa, y que según estos autores se relaciona directamente con estos resultados, es que disminuye la carga cognitiva.

La teoría de la carga cognitiva se basa en la premisa de que la estructura cognitiva del cerebro humano permite procesar una cantidad limitada de información. Concretamente, en la memoria de trabajo (Ruiz, 2020). Esta situación es potencialmente problemática en los procesos de aprendizaje individuales. Sin embargo, en el AC se lleva a cabo una división equitativa de tareas entre los alumnos, lo que reduce la cantidad de información que cada uno de ellos debe procesar.

Los entornos colaborativos implican estrategias relacionadas con el tamaño del grupo, los objetivos de aprendizaje, la comunicación, las tareas y la evaluación. En cuanto al tamaño del grupo, es importante establecer grupos medianos, de 4-5 alumnos (Johnson et al., 1999). Los grupos más pequeños carecen de diversidad y pueden limitar el pensamiento divergente, por el contrario, los grupos más grandes corren el riesgo de que no todos los miembros participen en las actividades.

Además de esto, es importante establecer objetivos grupales concretos antes de comenzar una tarea, ya que esto mantiene al grupo enfocado en la actividad y establece un propósito común. En cuanto a la comunicación, los entornos colaborativos deben promover la comunicación interpersonal para generar la confianza necesaria que permita lidiar con los problemas emocionales que surgen durante el proceso de aprendizaje. Del mismo modo, las tareas deben alentar a los miembros del grupo a explicarse entre ellos los conceptos a fondo, ya que los estudiantes que brindan y reciben explicaciones complejas se benefician más de los entornos colaborativos (Apodaca, 2006).

Finalmente, los entornos colaborativos deben considerar el proceso de aprendizaje en sí mismo como parte de la evaluación, ya que la calidad de las discusiones interpersonales, el grado de compromiso de los estudiantes y la adherencia a las normas del grupo son efectos del proceso de aprendizaje que son tan importantes como el aprendizaje en sí mismo.

4.1.2. Marco legislativo y curricular

El marco legislativo y curricular, por lo que respecta a los contenidos de la UD, las competencias específicas, los perfiles de salida, y los criterios de evaluación, se recoge en el Anexo I.

4.1.3. Actividades didácticas

Las actividades didácticas se plantean para grupos cooperativos de cuatro estudiantes, y se presentan siguiendo las unidades didácticas y el marco legislativo (Anexo I), en forma de fichas (Anexo II). Hay una primera ficha, preliminar, que explica los pasos a seguir para construir un *Merge Cube* de cartulina y para instalar la aplicación *Object Viewer* en los dispositivos móviles (Ficha 0). Una vez que los estudiantes ya dispongan de este recurso de RA, contarán con doce fichas para trabajar con otros tantos mecanismos de las colecciones *Mechanisms* y *Engines* de la aplicación *Object Viewer*.

Cada ficha versa sobre un mecanismo en concreto, y consta de tres actividades diferentes. La primera actividad, de una duración de 15 minutos, es de observación y análisis. Los estudiantes tienen que explorar el mecanismo a través del *Merge Cube*, y responder a una serie de preguntas específicas sobre sus características y funcionamiento. En esta actividad los cuatro estudiantes del grupo deberán trabajar conjuntamente, sin distinción de roles.

La segunda actividad es de documentación, y tiene una duración de 30 minutos. En esta actividad los estudiantes tienen que recopilar y elaborar información sobre el mecanismo objeto de estudio, asumiendo cada uno de ellos un rol diferente, que irá rotando con cada ficha, de manera que todos acaben ejerciendo los cuatro. Un estudiante se ocupará de buscar información sobre el origen, características, funcionamiento y utilidad del mecanismo. Otro se encargará de encontrar ejemplos de diferentes máquinas o aparatos que lo utilicen. El tercero tendrá que dibujar un esquema básico de las partes que lo componen y de su funcionamiento. Por último, el cuarto estudiante del grupo se ocupará de recopilar y organizar la información obtenida por sus compañeros.

La tercera actividad, de 15 minutos de duración, es de diseño. Los cuatro miembros del grupo, tras analizar la documentación reunida, tendrán que reflexionar sobre qué tipo de aparato se podría construir con el mecanismo propuesto, y analizar qué problema o necesidad resolvería. La propuesta se tendrá que presentar en forma de croquis o esbozo. En esta actividad los cuatro miembros del grupo volverán a trabajar conjuntamente, sin distinción de roles.

Realidad Aumentada con Merge Cube

Palanca de leva

En la colección **Mechanisms** de **Object Viewer** buscad el modelo **Cam Lever**.

Cam Lever

Actividad 1. Observación y análisis 15 min. ⌚

1.1 ¿La palanca de leva ofrece ventaja mecánica o desventaja mecánica?

1.2 ¿En qué posiciones se encuentran el fulcro, el punto de aplicación de la fuerza, y el punto de aplicación de la resistencia?

1.3 ¿De qué tipo de palanca se trata (primer grado, segundo grado o tercer grado)?

Actividad 2. Documentación 30 min. 📄

2.1 Busca documentación sobre este mecanismo: origen, características, funcionamiento y utilidad.

2.2 Encuentra diferentes máquinas o aparatos que utilicen este mecanismo.

2.3 Dibuja un esquema básico de las partes y el funcionamiento de este mecanismo.

2.4 Recopila y ordena la información obtenida por los otros miembros del grupo.

Actividad 3. Diseño 15 min. 📐

3.1 Tras analizar la documentación reunida, pensad qué tipo de aparato podríais construir con este mecanismo, explicad qué problema resolvería, y realizad un esbozo de su diseño.

Figura 4-1: Ficha de actividades basadas en *Merge Cube*. (Fuente: elaboración propia).

Las actividades están planteadas de manera que puedan ser secuenciadas de diferentes maneras, según el criterio del profesor. Por ejemplo, en una sesión de una hora, cada grupo podría llevar a cabo las tres actividades sobre un único mecanismo (observación y análisis, documentación, y diseño), o podría realizar cuatro actividades de observación y análisis de cuatro mecanismos diferentes. El modo de combinar los diferentes tipos de actividades se deja a criterio del profesor. En todo caso, las actividades de observación y análisis, que son las más directamente relacionadas con el manejo de *Merge Cube*, están planteadas de manera que cada grupo pueda examinar los doce mecanismos propuestos en un total de tres horas lectivas. Los objetivos de aprendizaje de estas actividades son los que se recogen en la Tabla 4-1.

Objetivos de aprendizaje	
OA1	Analizar mecanismos y sistemas de mecanismos mediante el uso de dispositivos de RA.
OA2	Comprender y describir el funcionamiento y la aplicación de diferentes mecanismos de transmisión y transformación del movimiento a partir del análisis y la elaboración de documentación asociada.
OA3	Diseñar aparatos o sistemas de mecanismos que realizan una función determinada dentro de un proyecto tecnológico.

Tabla 4-1: Objetivos de aprendizaje de las actividades de RA propuestas. (Fuente: elaboración propia).

4.1.4. Evaluación

La evaluación será específica para cada una de las tres actividades de las fichas. La relación entre los objetivos de aprendizaje y los criterios de evaluación se muestra en la Tabla 4-2.

Actividad	Objetivos de aprendizaje	Criterios de evaluación
A1	OA1. Analizar mecanismos y sistemas de mecanismos mediante el uso de dispositivos de RA.	CE1 1.2. Comprender y examinar productos tecnológicos de uso habitual a través del análisis de objetos y sistemas, empleando el método científico y utilizando herramientas de simulación en la construcción de conocimiento.
A2	OA2. Comprender y describir el funcionamiento y la aplicación de diferentes mecanismos de transmisión y transformación del movimiento a partir del análisis y la elaboración de documentación asociada.	CE1 1.2. Comprender y examinar productos tecnológicos de uso habitual a través del análisis de objetos y sistemas, empleando el método científico y utilizando herramientas de simulación en la construcción de conocimiento.
A3	OA3. Diseñar aparatos o sistemas de mecanismos que realizan una función determinada dentro de un proyecto tecnológico.	CE2 2.1. Idear y diseñar soluciones eficaces, innovadoras y sostenibles a problemas definidos, aplicando conceptos, técnicas y procedimientos interdisciplinares, así como criterios de sostenibilidad, con actitud emprendedora, perseverante y creativa.

Tabla 4-2: Relación entre Objetivos de aprendizaje y Criterios de evaluación. (Fuente: elaboración propia).

Las rúbricas de evaluación para cada actividad se pueden consultar en el Anexo III.

4.2. Diseño experimental

Como se introdujo al inicio de este apartado, para valorar la idoneidad de *Merge Cube* como herramienta didáctica en el aula de Tecnología se plantea un diseño experimental que permita comparar los resultados de aprendizaje logrados con el empleo de *Merge Cube* (en un entorno de RA), con los adquiridos por medio de métodos basados en diferentes entornos del *Continuo de la virtualidad*¹⁹: mecanismos reales (entorno real), y vídeos (entorno virtual).

4.2.1. Planteamiento

La cuestión a la que se trata de dar respuesta es si, en el contexto que nos ocupa (asimilación de los contenidos de la unidad *Máquinas y mecanismos* por parte de estudiantes de tercero de ESO), se obtienen mejores resultados de aprendizaje por medio del empleo de herramientas de RA (*Merge Cube*), de RV (vídeos), o de instrumentos reales (del aula de Tecnología). Es decir, la variable considerada será el tipo de recurso didáctico empleado, y tendrá los tres niveles antes señalados.

Para dar respuesta a esta cuestión, se plantea un diseño experimental multigrupo pretest-postest con dos grupos de control.

¹⁹ Véase el Apartado 2. *Qué es la Realidad Aumentada*.

Es importante señalar que, con este planteamiento, lo ideal hubiese sido poder contar con recursos de RA (*Merge Cube*) y de RV (videos 3D inmersivos con gafas de RV) especialmente concebidos y desarrollados para replicar de la manera más precisa posible los mecanismos reales del aula de Tecnología. En su defecto se ha optado, como una aproximación, o *proxy*, aceptable, utilizar recursos existentes de las librerías de *Merge Cube*, y videos 2D convencionales.

En la Tabla 4-3 se puede ver la relación entre los recursos de los diferentes niveles y grupos empleados en las actividades.






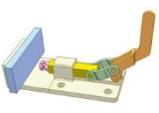


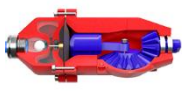




	Nivel I Mecanismos reales Grupo A	Nivel II RA - Merge Cube Grupo B	Nivel III RV - Vídeos Grupo C
Palanca de leva			
Abrazadera de palanca			
Motor neumático de diafragma			
Engranajes Nautilus			
Continuo de la virtualidad			

Tabla 4-3: Recursos empleados en el estudio experimental. (Fuente: elaboración propia).

4.2.2. Muestreo

La muestra está constituida por 81 estudiantes pertenecientes a las tres clases de las tres líneas de tercero de ESO de un centro concertado de Barcelona, que se reparten, mediante un procedimiento de azar, de la siguiente manera:

- Grupo A: 27 estudiantes asignados a otro grupo de control, que utilizará los mecanismos disponibles en el aula de Tecnología.
- Grupo B: 27 estudiantes asignados a la condición experimental (que utilizarán el dispositivo *Merge Cube*).
- Grupo C: 27 estudiantes asignados a un grupo de control, que hará uso de los vídeos.

4.2.3. Procedimiento

El estudio consta de cinco fases. En la primera, previa a la conformación de los grupos, se propone la realización de una evaluación pretest, de una hora de duración, al conjunto de los 81 estudiantes. La prueba pretest, que es la misma que la postest, contiene las 15 preguntas de la Actividad 1 de las fichas 1, 4, 11 y 12, por lo que se puntúa de 0 a 15 (ver Anexo IV). Se han escogido estas cuatro fichas porque cubren un amplio espectro conceptual:

- Palanca
- Elementos y tipos de palanca
- Engranajes rectos
- Engranajes cónicos
- Sistema biela-manivela
- Mecanismos multiplicadores y reductores
- Mecanismos de transformación de movimiento
- Cambios de plano

La segunda fase consiste en la formación de los tres grupos de la muestra, como se explicaba en el apartado anterior.

Seguidamente, se implementa el programa de intervención, diferente para cada grupo:

- Grupo A: Método A. Observación y análisis de los cuatro mecanismos propuestos a través de la manipulación de mecanismos reales disponibles en el aula de Tecnología.
- Grupo B: Método B. Observación y análisis de los cuatro mecanismos propuestos a través de la manipulación del *Merge Cube*.
- Grupo C: Método C. Observación y análisis de los cuatro mecanismos propuestos a través de la visualización de vídeos.

A continuación, en la cuarta fase, se lleva a cabo una evaluación postest, mediante la misma prueba que se utilizó para la evaluación pretest, con el conjunto de los estudiantes.

Finalmente, en la quinta fase, se analizan los resultados. Para ello, se comparan las puntuaciones de las evaluaciones pretest y postest mediante análisis estadísticos adecuados. Las diferencias entre las puntuaciones de ambos test nos dan la medida de la variación de los resultados de aprendizaje para cada uno de los grupos (ver Anexo IV).

La figura 4-2 describe las diferentes fases del diseño experimental.

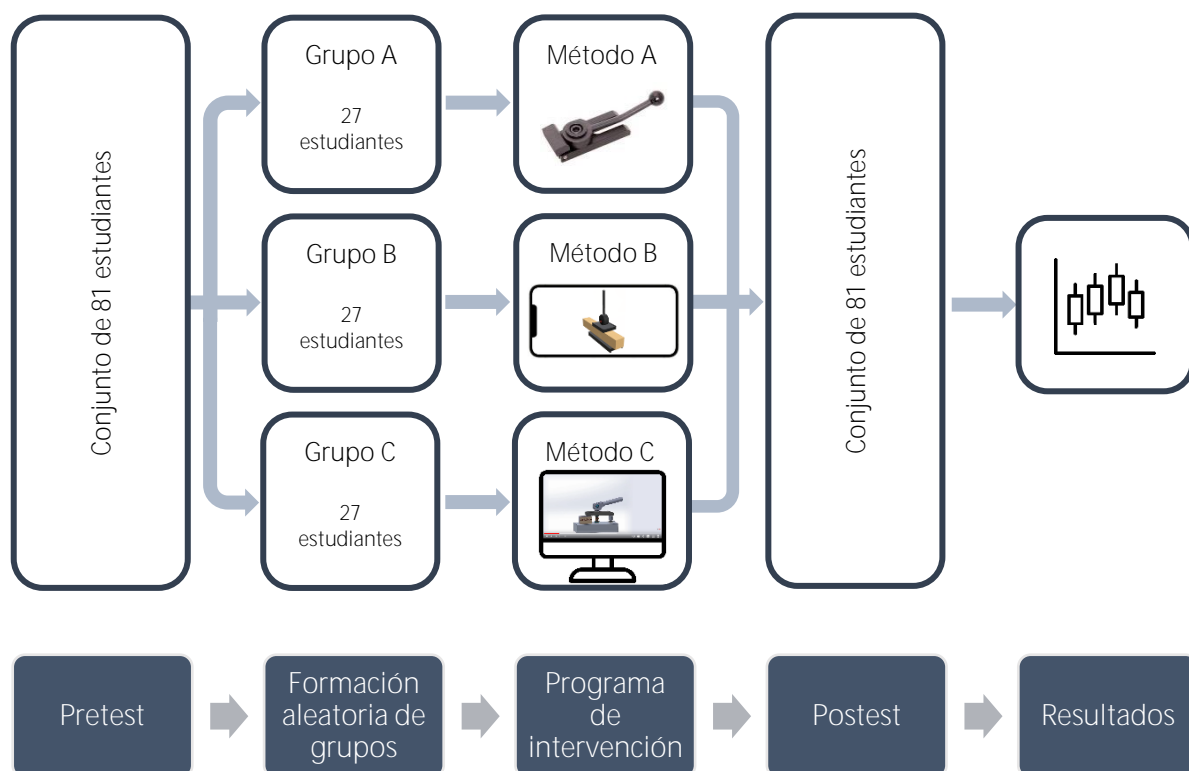


Figura 4-2: Fases del diseño experimental. (Fuente: elaboración propia).

4.2.4. Resultados

Por motivos de organización del curso académico del centro donde desarrollo este año las prácticas, no se ha podido llevar a cabo el estudio experimental antes de finalizar la redacción de este trabajo. Además, aunque se podría adaptar a la legislación vigente, este estudio está concebido para su realización a partir de la entrada en vigor de la LOMLOE el próximo curso 2022-23. Por todo ello, se pospone su realización para esa fecha.

5. Conclusiones

El empleo de la tecnología de RA en entornos educativos puede considerarse consolidado, y su idoneidad como herramienta educativa está altamente contrastada. A día de hoy, forma parte de los recursos educativos de todos los niveles de escolarización (Educación Infantil, Primaria, Secundaria y Universitaria). Ha obtenido el reconocimiento como una de las tecnologías más prometedoras para la educación por parte del New Media Consortium (www.nmc.org) y de la Educause Learning Initiative (www.educause.edu). Según Gartner, una firma de investigación de tecnologías de la información, la RA ha madurado tan rápidamente que ya ni siquiera puede considerarse una tecnología emergente.

Los beneficios del empleo de la RA en la educación son múltiples, destacando la mejora de la comprensión de la información; el aumento de los logros académicos; el incremento del interés, la atención, la motivación y la satisfacción; la autonomía del estudiante; su implicación, disfrute, y retención.

En general, uno de los beneficios más significativos de la RA, que se evidencia de manera transversal en todos los trabajos, es su capacidad única de crear entornos de aprendizaje híbridos e inmersivos que combinan objetos digitales y físicos, lo que facilita el desarrollo de habilidades como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la comunicación a través de actividades colaborativas. La tecnología de RA promueve una mayor interacción entre los estudiantes, y más entre los estudiantes y el material de aprendizaje, facilitando así el «aprender haciendo». Se ha demostrado útil para apoyar visualmente a los estudiantes y para permitirles visualizar conceptos intangibles o abstractos y fenómenos no observables.

Sin embargo, la RA también cuenta con una serie de inconvenientes que es necesario tener en cuenta a la hora de elaborar actividades didácticas basadas en ella. Destacan su dificultad inherente asociada a la complejidad y a las dificultades técnicas que puede comportar, sobre todo para quienes no cuentan con habilidades tecnológicas. Otro problema relacionado con los sistemas de RA es la multitarea, que conlleva un aumento de la carga cognitiva. Algunos estudiantes expresaron que las aplicaciones de RA exigen demasiada atención, lo que puede ser un factor de distracción. Esto puede hacer que los estudiantes ignoren instrucciones o etapas importantes de la experiencia. Esta apreciación puede resultar contradictoria con los resultados de otros estudios que constataban una reducción de la carga cognitiva mediante el empleo de la RA. Podemos interpretar este hecho considerando que la RA tiene el potencial de reducir la carga cognitiva de los estudiantes, pero que su efecto final dependerá del diseño específico de cada recurso, pudiendo llegar a ser incluso contraproducente.

A pesar de los beneficios señalados anteriormente, y de la extensa literatura existente sobre el empleo de la RA en ámbito educativo, la mayoría de los recursos de RA a disposición de los docentes no han sido concebidos y desarrollados teniendo en cuenta un encaje curricular concreto, que se base en unos enfoques pedagógicos precisos, y que se aplique a través de unas metodologías apropiadas. Para solventar esta carencia, el presente trabajo ofrece un material didáctico elaborado específicamente para trabajar con la herramienta de RA *Merge Cube* en el aula de Tecnología, concretamente en la unidad Máquinas y mecanismos de tercero de ESO, y dentro del nuevo marco legislativo introducido por la LOMLOE a partir del curso 2022-23. Este material consta de 12 fichas que permiten trabajar con otros tantos mecanismos a través de actividades de observación y análisis,

documentación y diseño. Se trata de actividades basadas en un enfoque constructivista, y que plantean la metodología del Aprendizaje colaborativo, cuya eficacia para el empleo de la RA en el aula resulta acreditada.

Para valorar la idoneidad de la herramienta de RA propuesta, *Merge Cube*, se propone un estudio basado en un diseño experimental multigrupo pretest-postest con dos grupos de control. Este estudio permite comparar los resultados de aprendizaje logrados con el empleo de *Merge Cube* (en un entorno de RA), con los adquiridos por medio de métodos basados en diferentes entornos del *Continuo de la virtualidad*: mecanismos reales (entorno real), y vídeos (entorno virtual). Es importante señalar que, con este planteamiento, lo ideal hubiese sido poder contar con recursos de RA (*Merge Cube*) y de RV (vídeos 3D inmersivos con gafas de RV) especialmente concebidos y desarrollados para replicar de la manera más precisa posible los mecanismos reales del aula de Tecnología. En su defecto se ha optado, como una aproximación, o *proxy*, aceptable, utilizar recursos existentes de las librerías de *Merge Cube*, y vídeos 2D convencionales.

Este estudio está concebido para su realización a partir de la entrada en vigor de la LOMLOE el próximo curso 2022-23 y, por ello, se pospone su realización para esa fecha.

Bibliografía

- Aircards. (2021). *Markerless vs. Marker-based AR with Examples*. [Fecha de consulta: 18 de febrero de 2022]. <https://www.aircards.co/blog/markerless-vs-marker-based-ar-with-examples>
- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
- Apodaca, P. (2006). Estudio y Trabajo en Grupo. En, De Miguel, M. *Metodologías de enseñanza y aprendizaje para el desarrollo de competencias*. Madrid: Alianza. Págs. 169-190.
- Arnhem, J. P. J. V. (2018). Mobile Apps and Gear for Libraries: Merge Cube's Handiness with Holograms Makes it a Good Place to Start with Augmented Reality. *The Charleston Advisor*, 20(1), 56-58. <https://doi.org/10.5260/chara.20.1.56>
- Avila-Garzon, C., Bacca-Acosta, J., Kinshuk, ., Duarte, J., & Betancourt, J. (2021). Augmented Reality in Education: An Overview of Twenty-Five Years of Research. *Contemporary Educational Technology*, 13(3), ep302. <https://doi.org/10.30935/cedtech/10865>
- Azuma, R. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Benito, A. y Cruz, B. (2005). *Nuevas claves para la docencia universitaria*. Madrid: Narcea.
- Bertran-Martínez, A., Hernández-Fernández, A., & Seinfeld-Tarafa, S. (2022). MERGE CUBE Y REALIDAD AUMENTADA: UNA PROPUESTA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE TECNOLOGÍA Y DIGITALIZACIÓN EN PRIMER CURSO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA. INNOVAGOGÍA 2022. *VI Congreso Internacional sobre Innovación Pedagógica y Praxis Educativa*. Libro de Actas. 25, 26 y 27 de mayo de 2022. Sevilla, España: AFOE.
- Bhattacharjee, S. (2019). *What is Augmented Reality (AR)? Ultimate Guide to Augmented Reality*. Medium. [Fecha de consulta: 14 de marzo de 2022]. <https://medium.com/@nite.2051993/what-is-augmented-reality-ar-ultimate-guide-to-augmented-reality-db658b69b957>
- Blosch, M., & Fenn, J. (2018). *Understanding Gartner's Hype Cycles*. Gartner, Inc. [Fecha de consulta: 17 de marzo de 2022]. <https://www.gartner.com/en/documents/3887767>
- BSEtec. (2018). *Location Based Augmented Reality*. [Fecha de consulta: 14 de marzo de 2022]. <https://www.bsetec.com/blog/location-based-augmented-reality/>
- Caudell, T. P., & Mizell, D. W. (1992). Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*, 2, 659–669. <https://doi.org/10.1109/HICSS.1992.183317>
- Clark, R. E. (1994). Media will never influence learning. *Educational Technology Research and Development*, 42(2), 21–29.

- CreatXR. (2020). *The Virtuality Spectrum - Understanding AR, MR, VR and XR*. [Fecha de consulta: 13 de marzo de 2022].
<https://creatxr.com/the-virtuality-spectrum-understanding-ar-mr-vr-and-xr/>
- 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.
<https://doi.org/10.1007/s10956-008-9119-1>
- Garzón, J., Pavón, J., & Baldiris, S. (2019). Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings. *Virtual Reality*.
<https://doi.org/10.1007/s10055-019-00379-9>
- Garzón, Juan, & Acevedo, J. (2019). Meta-analysis of the impact of Augmented Reality on students' learning gains. *Educational Research Review*, 27, 244-260.
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.04.001>
- Garzón, J., Kinshuk, Baldiris, S., Gutiérrez, J., & Pavón, J. (2020). How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review*, 31, 100334.
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100334>
- Herdina, M. (2020). *Augmented Reality Disappeared From Gartner's Hype Cycle – What's Next?* ARPost. [Fecha de consulta: 17 de marzo de 2022].
<https://arpost.co/2020/09/25/augmented-reality-gartners-hype-cycle/>
- Herpich, F., Nunes, F., Petri, G., & Tarouco, L. (2019). How Mobile Augmented Reality Is Applied in Education? A Systematic Literature Review. *Creative Education*, 10(7), 1589-1627.
<https://doi.org/10.4236/ce.2019.107115>
- Ibáñez, M.-B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109–123.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- Johnson, D., Johnson, R., Y Holubec, E. (1999). *El aprendizaje cooperativo en el aula*. Buenos Aires: Paidós.
- Kairu, C. (2021). Augmented Reality and Its Influence on Cognitive Thinking in Learning. *American Journal of Educational Research*, 9(8), 504-512.
<https://doi.org/10.12691/education-9-8-6>
- Kozma, R. B. (1994). Will media influence learning? Reframing the debate. *Educational Technology Research and Development*, 42(2), 7–19.
- Mapping Motion. (2018). *Qu'est-ce que l'art immersif?* [Fecha de consulta: 15 de marzo de 2022].
<https://mappingmotion.com/quest-ce-que-lart-immersif/>
- Mealy, Paul. (2018). *Virtual & Augmented Reality*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-1-119-48134-8.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1994). Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Proceedings of Telemanipulator and Telepresence Technologies*, 2351(34), 282–292.
<https://doi.org/10.1117/12.197321>

- Mystakidis, S., Christopoulos, A., Pellas, N. (2021). A systematic mapping review of augmented reality applications to support STEM learning in higher education. *Education and Information Technologies*, 1-45.
<https://doi.org/10.1007/s10639-021-10682-1>
- Ozdemir, M., Sahin, C., Arcagok, S., & Demir, M.K. (2018). The effect of augmented reality applications in the learning process: A meta-analysis study. *Eurasian Journal of Educational Research*, 18(74), 165-186.
<https://doi.org/10.14689/ejer.2018.74.9>
- Pellas, N., Fotaris, P., Kazanidis, I., & Wells, D. (2019a). Augmenting the learning experience in primary and secondary school education: A systematic review of recent trends in augmented reality game-based learning. *Virtual Reality*, 23(4), 329–346.
<https://doi.org/10.1007/s10055-018-0347-2>
- Pellas, N., Kazanidis, I., & Palaigeorgiou, G. (2019b). A systematic literature review of mixed reality environments in K-12 education. *Education and Information Technologies*.
<https://doi.org/10.1007/s10639-019-10076-4>
- Prieto, L. (2007). *El aprendizaje cooperativo*. Madrid: PPC.
- Radu, I. (2014). Augmented reality in education: A meta-review and cross-media analysis. *Personal and Ubiquitous Computing*, 1-11.
<https://doi.org/10.1007/s00779-013-0747-y>
- Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado*, 76, de 30 de marzo de 2022.
<https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217/con>
- Ruiz, H. (2020). *¿Cómo aprendemos?* Barcelona: Editorial Graó. ISBN 978-84-18058-05-9.
- Saltan, F., & Arslan, Ö. (2017). The use of augmented reality in formal education: A scoping review. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(2), 503-520.
<https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00628a>
- Servicio de Innovación Educativa de la UPM (2008). *Aprendizaje Cooperativo*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
https://innovacioneducativa.upm.es/sites/default/files/guias/Aprendizaje_cooperativo.pdf
- Shahid, H. (2021). Pictorial Cube: An Augmented Reality Application for 3D Visualization of Learning Objects. *Faculty of Science and Forestry, School of Computing. University of Eastern Finland*.
<http://urn.fi/urn:nbn:fi:uef-20211068>
- Sommerauer, P., & Müller, O. (2014). Augmented reality in informal learning environments: A field experiment in a mathematics exhibition. *Computers & Education*, 79, 59-68.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.07.013>
- Sutherland, I.E. (1965). The Ultimate Display. *Proceedings IFIP Congress* (pág. 506-508).
- Sutherland, I.E. (1968). A Head-Mounted Three Dimensional Display. *AFIPS '68 (Fall, part I)*.
- Taufiq, M., Nuswowati, M., & Widiyatmoko, A. (2021a). Study of the Applicability Level of Merge Cube Augmented Reality Media on Junior High School Science Teachers. *Unnes Science Education Journal*, 10(3).
<https://doi.org/10.15294/usej.v10i3.49804>

Taufiq, M., Nuswowati, M., & Widiyatmoko, A. (2021b). Feasibility study of a solar system learning media based on merge cube augmented reality to embedding problem solving skills. *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1918, No. 5, p. 052064). IOP Publishing.

<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1918/5/052064>

Vilaret Tolrà, R. (2019). Aplicació de la realitat augmentada a l'ESO (Projecte Final de Màster Oficial). *UPC, Facultat d'Informàtica de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya*.

<http://hdl.handle.net/2117/165264>

Wagner, D., Schmalstieg, D. (2007). ARToolKitPlus for pose tracking on mobile devices. *Institute for Computer Graphics and Vision, Graz University of Technology. Proceedings of 12th Computer Vision Winter Workshop*, pp 139–146.

Wojciechowski, R., & Cellary, W. (2013). Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments. *Computers & Education*, 68, 570-585.

<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.014>

Anexo I. Marco legislativo y curricular

Los materiales didácticos de las actividades propuestas se ajustarán a lo estipulado en la LOMLOE, la nueva ley educativa que entrará en vigor en España en el curso 2022-23 (Real Decreto 217, 2022), sujeta a ulteriores desarrollos normativos de rango autonómico.

La unidad didáctica de la que formarían parte sería la correspondiente a Máquinas y mecanismos, de tercero de ESO. A la espera de una mayor concreción de los contenidos curriculares (*saberes básicos*, en la nueva terminología LOMLOE) por parte de las autoridades educativas autonómicas, se plantea una unidad estructurada de la siguiente manera:

UD Máquinas y mecanismos
Análisis de objetos cotidianos y construcciones simples.
Mecanismos para la transmisión y transformación del movimiento y su función en diferentes máquinas.
Análisis de mecanismos mediante aplicaciones digitales.
Diseño, desarrollo y evaluación de proyectos con mecanismos y asociaciones de mecanismos.

Tabla AI-0-1: Contenidos de la UD Máquinas y mecanismos de 3º de ESO. (Fuente: elaboración propia).

Las competencias específicas contempladas en las actividades didácticas serían las siguientes:

Competencias específicas
CE1. Buscar y seleccionar la información adecuada proveniente de diversas fuentes, de manera crítica y segura, aplicando procesos de investigación, métodos de análisis de productos y experimentando con herramientas de simulación, para definir problemas tecnológicos e iniciar procesos de creación de soluciones a partir de la información obtenida.
CE2. Abordar problemas tecnológicos con autonomía y actitud creativa, aplicando conocimientos interdisciplinares y trabajando de forma cooperativa y colaborativa, para diseñar y planificar soluciones a un problema o necesidad de forma eficaz, innovadora y sostenible.

Tabla AI-0-2: Competencias específicas dentro del marco LOMLOE. (Fuente: Real Decreto 217, 2022).

Las competencias clave y el grado de desarrollo de las mismas, comprendidas en los objetivos, fines y principios generales y pedagógicos recogidos en los *perfiles de salida* (en la nueva terminología LOMLOE) correspondientes a cada competencia específica, se recogen en la Tabla AI-0-3:

Perfiles de salida. Al completar la enseñanza básica, el alumno o la alumna...	
CE1	CCL3. Localiza, selecciona y contrasta de manera progresivamente autónoma información procedente de diferentes fuentes, evaluando su fiabilidad y pertinencia en función de los objetivos de lectura y evitando los riesgos de manipulación y desinformación, y la integra y transforma en conocimiento para comunicarla adoptando un punto de vista creativo, crítico y personal a la par que respetuoso con la propiedad intelectual.
	STEM2. Utiliza el pensamiento científico para entender y explicar los fenómenos que ocurren a su alrededor, confiando en el conocimiento como motor de desarrollo, planteándose preguntas y comprobando hipótesis mediante la experimentación y la indagación, utilizando herramientas e instrumentos adecuados, apreciando la importancia de la precisión y la veracidad y mostrando una actitud crítica acerca del alcance y las limitaciones de la ciencia.
	CD1. Realiza búsquedas en internet atendiendo a criterios de validez, calidad, actualidad y fiabilidad, seleccionando los resultados de manera crítica y archivándolos, para recuperarlos, referenciarlos y reutilizarlos, respetando la propiedad intelectual.
CE2	CCL1. Se expresa de forma oral, escrita, signada o multimodal con coherencia, corrección y adecuación a los diferentes contextos sociales, y participa en interacciones comunicativas con actitud cooperativa y respetuosa tanto para intercambiar información, crear conocimiento y transmitir opiniones, como para construir vínculos personales.
	CPSAA3. Comprende proactivamente las perspectivas y las experiencias de las demás personas y las incorpora a su aprendizaje, para participar en el trabajo en grupo, distribuyendo y aceptando tareas y responsabilidades de manera equitativa y empleando estrategias cooperativas.
<p>CCL: Competencia en comunicación lingüística.</p> <p>STEM: Competencia matemática y competencia en ciencia, tecnología e ingeniería.</p> <p>CD: Competencia digital.</p> <p>CPSAA: Competencia personal, social y de aprender a aprender.</p>	

Tabla AI-0-3: Perfiles de salida dentro del marco LOMLOE. (Fuente: Real Decreto 217, 2022).

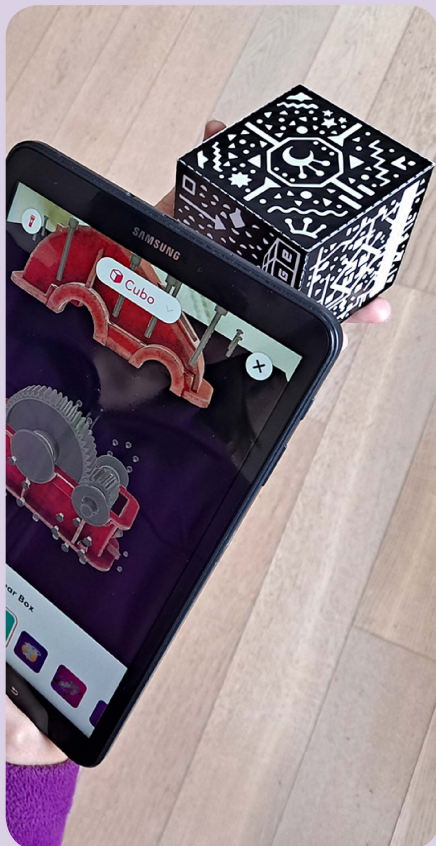
Por último, los criterios de evaluación que se seguirán serán los siguientes:

Criterios de evaluación	
CE1	1.2 Comprender y examinar productos tecnológicos de uso habitual a través del análisis de objetos y sistemas, empleando el método científico y utilizando herramientas de simulación en la construcción de conocimiento.
CE2	2.1 Idear y diseñar soluciones eficaces, innovadoras y sostenibles a problemas definidos, aplicando conceptos, técnicas y procedimientos interdisciplinares, así como criterios de sostenibilidad, con actitud emprendedora, perseverante y creativa.

Tabla AI-0-4: Criterios de evaluación dentro del marco LOMLOE. (Fuente: Real Decreto 217, 2022).

Anexo II. Fichas de las actividades didácticas

Realidad Aumentada con Merge Cube



Montaje del Merge Cube

En esta actividad aprenderéis a construir y utilizar un dispositivo de Realidad Aumentada: **Merge Cube**.



Material que necesitaréis

- Una impresora y papel de impresora o cartulina blanca
- Tijeras
- Pegamento y/o cinta adhesiva transparente
- Un teléfono móvil o tableta con conexión a internet



Paso 1

- Descargad e imprimid el PDF del cubo de papel:



15 min.



Paso 2

- Recortad la silueta del cubo, doblad las pestañas y pegadlas con pegamento o cinta adhesiva.

30 min.



Paso 3

- Instalad la aplicación Object Viewer.
- Abrid la aplicación y enfocad el cubo con la cámara.



Android



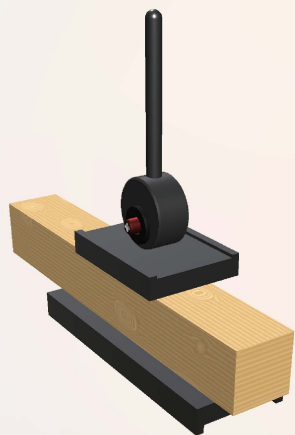
iOS

15 min.



Figura AII-0-1: Ficha 0. Montaje del *Merge Cube*. (Fuente: elaboración propia).

Realidad Aumentada con Merge Cube



 Cam Lever



Palanca de leva

En la colección **Mechanisms** de **Object Viewer** buscad el modelo **Cam Lever**.



Actividad 1. Observación y análisis

15 min.



1.1 ¿La palanca de leva ofrece ventaja mecánica o desventaja mecánica?



1.2 ¿En qué posiciones se encuentran el fulcro, el punto de aplicación de la fuerza, y el punto de aplicación de la resistencia?



1.3 ¿De qué tipo de palanca se trata (primer grado, segundo grado o tercer grado)?



Actividad 2. Documentación

30 min.



2.1 Busca documentación sobre este mecanismo: origen, características, funcionamiento y utilidad.



2.2 Encuentra diferentes máquinas o aparatos que utilicen este mecanismo.



2.3 Dibuja un esquema básico de las partes y el funcionamiento de este mecanismo.



2.4 Recopila y ordena la información obtenida por los otros miembros del grupo.



Actividad 3. Diseño

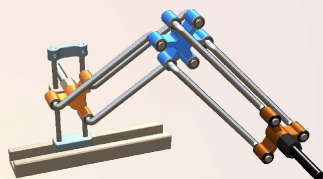
15 min.



3.1 Tras analizar la documentación reunida, pensad qué tipo de aparato podríais construir con este mecanismo, explicad qué problema resolvería, y realizad un esbozo de su diseño.

Figura AII-0-2: Ficha 1. Palanca de leva. (Fuente: elaboración propia).

Realidad Aumentada con Merge Cube



 Parallelogram Transmission Mechanism



Mecanismo de paralelogramo

En la colección **Mechanisms** de **Object Viewer** buscad el modelo **Parallelogram Transmission Mechanism**.



Actividad 1. Observación y análisis

15 min.



1.1 ¿Qué tipo de movimiento tienen los elementos de entrada y de salida en el mecanismo de paralelogramo?



1.2 ¿Se trata de un mecanismo reversible o irreversible?



1.3 ¿Qué cambiaría en el elemento de salida si se invirtiese el sentido de giro del elemento de entrada?



Actividad 2. Documentación

30 min.



2.1 Busca documentación sobre este mecanismo: origen, características, funcionamiento y utilidad.



2.2 Encuentra diferentes máquinas o aparatos que utilicen este mecanismo.



2.3 Dibuja un esquema básico de las partes y el funcionamiento de este mecanismo.



2.4 Recopila y ordena la información obtenida por los otros miembros del grupo.



Actividad 3. Diseño

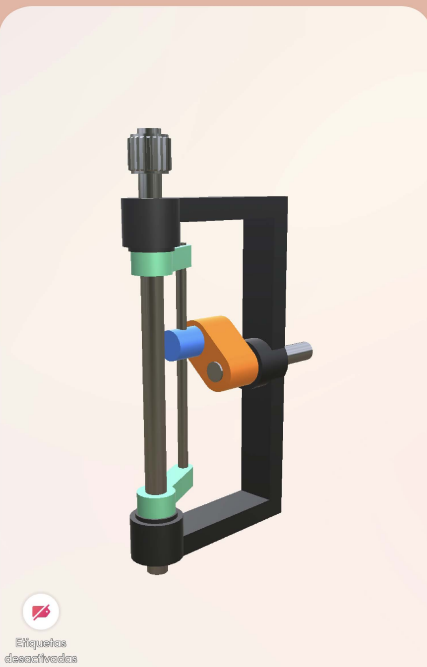
15 min.



3.1 Tras analizar la documentación reunida, pensad qué tipo de aparato podríais construir con este mecanismo, explicad qué problema resolvería, y realizad un esbozo de su diseño.

Figura AII-0-3: Ficha 2. Mecanismo de paralelogramo. (Fuente: elaboración propia).

Realidad Aumentada con Merge Cube



 Reciprocating 90 Degrees Mechanism



Mecanismo de movimiento oscilatorio de 90 grados

En la colección **Mechanisms** de **Object Viewer** buscad el modelo **Reciprocating 90 Degrees Mechanism**.



Actividad 1. Observación y análisis

15 min.



1.1 ¿Qué tipo de movimiento tienen los elementos de entrada y de salida en el mecanismo de movimiento oscilatorio de 90 grados?



1.2 ¿Qué piezas del mecanismo tendríamos que modificar para que el giro del elemento de salida fuese mayor o menor de 90 grados?



1.3 ¿Qué modificación tendríamos que hacer en esas piezas?



Actividad 2. Documentación

30 min.



2.1 Busca documentación sobre este mecanismo: origen, características, funcionamiento y utilidad.



2.2 Encuentra diferentes máquinas o aparatos que utilicen este mecanismo.



2.3 Dibuja un esquema básico de las partes y el funcionamiento de este mecanismo.



2.4 Recopila y ordena la información obtenida por los otros miembros del grupo.



Actividad 3. Diseño

15 min.



3.1 Tras analizar la documentación reunida, pensad qué tipo de aparato podríais construir con este mecanismo, explicad qué problema resolvería, y realizad un esbozo de su diseño.

Figura AII-0-4: Ficha 3. Mecanismo de movimiento oscilatorio. (Fuente: elaboración propia).

Realidad Aumentada con Merge Cube



 Elige un modelo de la colección de mecanismos

 Toggle Clamp



Abrazadera de palanca

En la colección **Mechanisms** de **Object Viewer** buscad el modelo **Toggle Clamp**.



Actividad 1. Observación y análisis

15 min.



1.1 ¿Cuál de las diferentes partes del mecanismo es el brazo de la fuerza?



1.2 ¿Sobre qué punto del brazo de la fuerza se obtiene una mayor ventaja mecánica?



1.3 ¿Cómo tendría que ser el brazo de la fuerza para que la abrazadera proporcionase mayor ventaja mecánica?



1.4 ¿Cuál de los tres pernos de conexión tiene la función de fulcro de palanca?



Actividad 2. Documentación

30 min.



2.1 Busca documentación sobre este mecanismo: origen, características, funcionamiento y utilidad.



2.2 Encuentra diferentes máquinas o aparatos que utilicen este mecanismo.



2.3 Dibuja un esquema básico de las partes y el funcionamiento de este mecanismo.



2.4 Recopila y ordena la información obtenida por los otros miembros del grupo.



Actividad 3. Diseño

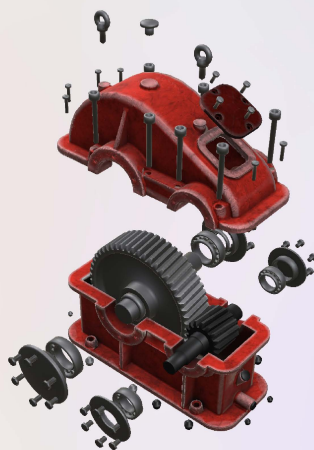
15 min.



3.1 Tras analizar la documentación reunida, pensad qué tipo de aparato podríais construir con este mecanismo, explicad qué problema resolvería, y realizad un esbozo de su diseño.

Figura AII-0-5: Ficha 4. Abrazadera de palanca. (Fuente: elaboración propia).

Realidad Aumentada con Merge Cube



 Gear Box



Caja de engranajes

En la colección **Engines** de **Object Viewer** buscad el modelo **Gear Box**.



Actividad 1. Observación y análisis

15 min.



1.1 ¿Creéis que se trata de un mecanismo multiplicador o reductor?



1.2 ¿Cuál creéis que es el engranaje conductor, y cuál el conducido?



1.3 En función de la forma de los dientes, ¿qué tipo de engranajes aparecen en el modelo?



1.4 ¿Cambiaría la relación de transmisión si cambiase la forma de los dientes de los engranajes, pero no su número?



Actividad 2. Documentación

30 min.



2.1 Busca documentación sobre este mecanismo: origen, características, funcionamiento y utilidad.



2.2 Encuentra diferentes máquinas o aparatos que utilicen este mecanismo.



2.3 Dibuja un esquema básico de las partes y el funcionamiento de este mecanismo.



2.4 Recopila y ordena la información obtenida por los otros miembros del grupo.



Actividad 3. Diseño

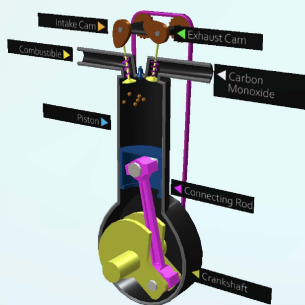
15 min.



3.1 Tras analizar la documentación reunida, pensad qué tipo de aparato podríais construir con este mecanismo, explicad qué problema resolvería, y realizad un esbozo de su diseño.

Figura AII-0-6: Ficha 5. Caja de engranajes. (Fuente: elaboración propia).

Realidad Aumentada con Merge Cube



 Combustion Engine Piston



Pistón de motor de combustión

En la colección **Mechanisms** de **Object Viewer** buscad el modelo **Combustion Engine Piston**.



Actividad 1. Observación y análisis

15 min.



1.1 ¿Qué tipo de mecanismo utiliza un motor de combustión?



1.2 ¿Qué transformación de movimiento lleva a cabo?



1.3 ¿Cuál es el elemento de entrada, y cuál el de salida, y que tipo de movimiento tiene cada uno?



1.4 ¿Se trata de un mecanismo reversible o irreversible?



1.5 ¿En qué afectaría al movimiento del pistón que el brazo de la manivela fuese mayor?



Actividad 2. Documentación

30 min.



2.1 Busca documentación sobre este mecanismo: origen, características, funcionamiento y utilidad.



2.2 Encuentra diferentes máquinas o aparatos que utilicen este mecanismo.



2.3 Dibuja un esquema básico de las partes y el funcionamiento de este mecanismo.



2.4 Recopila y ordena la información obtenida por los otros miembros del grupo.



Actividad 3. Diseño

15 min.



3.1 Tras analizar la documentación reunida, proponed un aparato con un sistema biela-manivela que no sea un motor, explicad qué problema resolvería, y realizad un esbozo de su diseño.

Figura AII-0-7: Ficha 6. Pistón de motor de combustión. (Fuente: elaboración propia).

Realidad Aumentada con Merge Cube



 Hand Gripper Mechanism



Pinzas de agarre

En la colección **Mechanisms** de **Object Viewer** buscad el modelo **Hand Gripper Mechanism**.



Actividad 1. Observación y análisis

15 min.



1.1 ¿Cuántos tipos de engranajes aparecen en este mecanismo?



1.2 ¿Cómo se denomina el tipo de engranaje que es de color naranja en el modelo?



1.3 La combinación de engranajes amarillos y azules, ¿es multiplicadora o reductora?



1.4 ¿Se trata de un mecanismo reversible o irreversible?



1.5 ¿Qué ventajas e inconvenientes posee respecto a unas pinzas de palanca convencionales?



Actividad 2. Documentación

30 min.



2.1 Busca documentación sobre este mecanismo: origen, características, funcionamiento y utilidad.



2.2 Encuentra diferentes máquinas o aparatos que utilicen este mecanismo.



2.3 Dibuja un esquema básico de las partes y el funcionamiento de este mecanismo.



2.4 Recopila y ordena la información obtenida por los otros miembros del grupo.



Actividad 3. Diseño

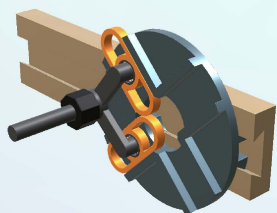
15 min.



3.1 Tras analizar la documentación reunida, pensad qué tipo de aparato podríais construir con este mecanismo, explicad qué problema resolvería, y realizad un esbozo de su diseño.

Figura AII-0-8: Ficha 7. Pinzas de agarre. (Fuente: elaboración propia).

Realidad Aumentada con Merge Cube



 Reciprocating Trammel Mechanism



Mecanismo rotatorio oscilante

En la colección **Mechanisms** de **Object Viewer** buscad el modelo **Reciprocating Trammel Mechanism**.



Actividad 1. Observación y análisis

15 min.



1.1 ¿Qué tipo de transformación de movimiento lleva a cabo este mecanismo?



1.2 Suponiendo que la velocidad de rotación del eje principal sea constante, ¿sería también constante la rapidez, o velocidad absoluta, de los elementos rectilíneos?



1.3 Si seguimos la trayectoria de los dos ejes conectados a las piezas naranjas, ¿qué tipo de figura geométrica dibujan en el espacio?



Actividad 2. Documentación

30 min.



2.1 Busca documentación sobre este mecanismo: origen, características, funcionamiento y utilidad.



2.2 Encuentra diferentes máquinas o aparatos que utilicen este mecanismo.



2.3 Dibuja un esquema básico de las partes y el funcionamiento de este mecanismo.



2.4 Recopila y ordena la información obtenida por los otros miembros del grupo.



Actividad 3. Diseño

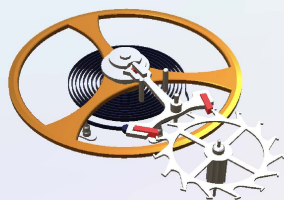
15 min.



3.1 Tras analizar la documentación reunida, pensad qué tipo de aparato podríais construir con este mecanismo, explicad qué problema resolvería, y realizad un esbozo de su diseño.

Figura AII-0-9: Ficha 8. Mecanismo rotatorio oscilante. (Fuente: elaboración propia).

Realidad Aumentada con Merge Cube



 Swiss Lever Escapement



Escape de palanca

En la colección **Mechanisms** de **Object Viewer** buscad el modelo **Swiss Lever Escapement**.



Actividad 1. Observación y análisis

15 min.



1.1 ¿Qué función tiene el muelle en espiral?



1.2 ¿Qué tipo de transformación de la energía produce este mecanismo?



1.3 ¿Cuál es la palanca que da nombre al mecanismo?



1.4 ¿De qué tipo de palanca se trata (primer grado, segundo grado o tercer grado)?



1.5 ¿En qué posiciones se encuentran el fulcro y el punto de aplicación de la fuerza?



Actividad 2. Documentación

30 min.



2.1 Busca documentación sobre este mecanismo: origen, características, funcionamiento y utilidad.



2.2 Encuentra diferentes máquinas o aparatos que utilicen este mecanismo.



2.3 Dibuja un esquema básico de las partes y el funcionamiento de este mecanismo.



2.4 Recopila y ordena la información obtenida por los otros miembros del grupo.



Actividad 3. Diseño

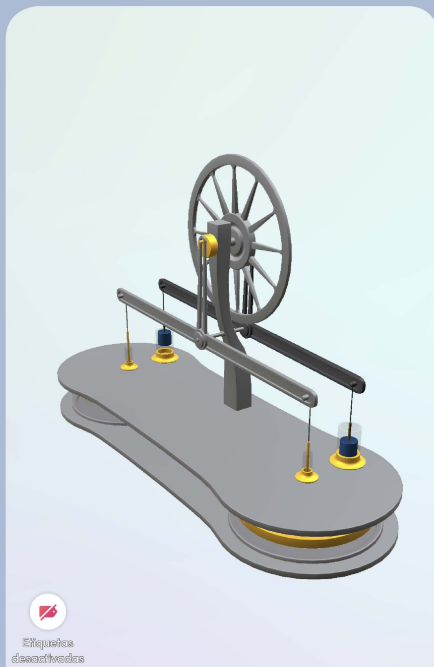
15 min.



3.1 Tras analizar la documentación reunida, pensad qué tipo de aparato podríais construir con este mecanismo, explicad qué problema resolvería, y realizad un esbozo de su diseño.

Figura AII-0-10: Ficha 9. Escape de palanca. (Fuente: elaboración propia).

Realidad Aumentada con Merge Cube




Elige un cubo
de realidad aumentada

 Stirling Engine



Motor Stirling

En la colección **Engines** de **Object Viewer** buscad el modelo **Stirling Engine**.



Actividad 1. Observación y análisis

15 min. 



1.1 ¿Qué tipo de transformación de la energía produce este mecanismo?



1.2 ¿Qué tipo de transformación del movimiento produce este mecanismo?



1.3 ¿De qué tipo de palanca se trata (primer grado, segundo grado o tercer grado)?



1.4 ¿Podrían sustituirse las palancas del modelo por un mecanismo biela-manivela?



1.5 ¿Qué partes habría que sustituir, y cuáles se conservarían?



Actividad 2. Documentación

30 min. 



2.1 Busca documentación sobre este mecanismo: origen, características, funcionamiento y utilidad.



2.2 Encuentra diferentes máquinas o aparatos que utilicen este mecanismo.



2.3 Dibuja un esquema básico de las partes y el funcionamiento de este mecanismo.



2.4 Recopila y ordena la información obtenida por los otros miembros del grupo.



Actividad 3. Diseño

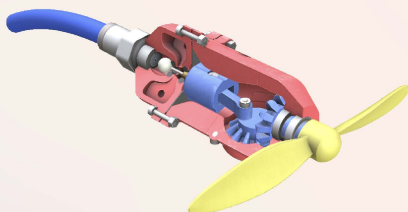
15 min. 



3.1 Tras analizar la documentación reunida, pensad qué tipo de aparato podríais construir con este mecanismo, explicad qué problema resolvería, y realizad un esbozo de su diseño.

Figura AII-0-11: Ficha 10. Motor Stirling. (Fuente: elaboración propia).

Realidad Aumentada con Merge Cube



 Diaphragm Air Engine Mechanism



Motor neumático de diafragma

En la colección **Engines** de **Object Viewer** buscad el modelo **Diaphragm Air Engine Mechanism**.



Actividad 1. Observación y análisis

15 min.



1.1 ¿Cuál es el origen de la fuerza motriz en este mecanismo?



1.2 ¿Qué tipo de transformación del movimiento produce este mecanismo?



1.3 ¿De qué tipo son los engranajes que se ven en el modelo?



1.4 ¿Qué función tienen estos engranajes?



1.5 ¿Para qué sirve la membrana que está en contacto con el pistón?



Actividad 2. Documentación

30 min.



2.1 Busca documentación sobre este mecanismo: origen, características, funcionamiento y utilidad.



2.2 Encuentra diferentes máquinas o aparatos que utilicen este mecanismo.



2.3 Dibuja un esquema básico de las partes y el funcionamiento de este mecanismo.



2.4 Recopila y ordena la información obtenida por los otros miembros del grupo.



Actividad 3. Diseño

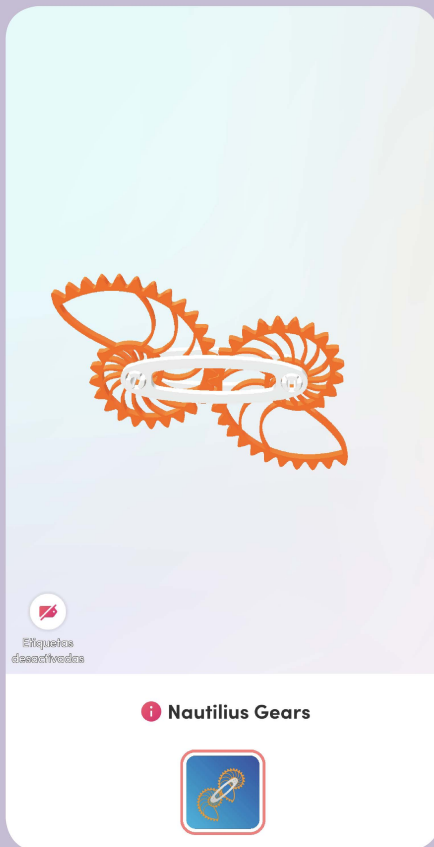
15 min.



3.1 Tras analizar la documentación reunida, pensad qué tipo de aparato podríais construir con este mecanismo, explicad qué problema resolvería, y realizad un esbozo de su diseño.

Figura All-0-12: Ficha 11. Motor neumático de diafragma. (Fuente: elaboración propia).

Realidad Aumentada con Merge Cube



Engranajes Nautilus

En la colección **Mechanisms** de **Object Viewer** buscad el modelo **Nautilus Gears**.



Actividad 1. Observación y análisis

15 min.



1.1 Suponiendo que la velocidad del engranaje conductor fuese constante, ¿sería también constante la del engranaje conducido?



1.2 ¿En qué momento los dos engranajes giran a la misma velocidad?



1.3 ¿En qué circunstancias los engranajes actúan como un mecanismo multiplicador, y en cuáles como reductor?



Actividad 2. Documentación

30 min.



2.1 Busca documentación sobre este mecanismo: origen, características, funcionamiento y utilidad.



2.2 Encuentra diferentes máquinas o aparatos que utilicen este mecanismo.



2.3 Dibuja un esquema básico de las partes y el funcionamiento de este mecanismo.



2.4 Recopila y ordena la información obtenida por los otros miembros del grupo.



Actividad 3. Diseño

15 min.



3.1 Tras analizar la documentación reunida, pensad qué tipo de aparato podríais construir con este mecanismo, explicad qué problema resolvería, y realizad un esbozo de su diseño.

Figura AII-0-13: Ficha 12. Engranajes Nautilus. (Fuente: elaboración propia).

Anexo III. Rúbricas de evaluación de las actividades didácticas

Actividad 1. Observación y análisis				
Aspecto a evaluar	Nivel 1. En proceso de logro	Nivel 2. Logro suficiente	Nivel 3. Logro notable	Nivel 4. Logro excelente
Análisis de las diferentes partes de un mecanismo.	No es aún capaz de identificar las partes de un mecanismo.	Identifica algunas partes, pero no consigue describirlas correctamente.	Identifica la mayoría de las partes, y consigue describirlas someramente.	Identifica la totalidad de las partes, y realiza una descripción precisa de ellas.
Comprensión de la funcionalidad de las diferentes partes de un mecanismo.	No es aún capaz de razonar sobre cuál es la funcionalidad de las diferentes partes de un mecanismo.	Intuye la funcionalidad de algunas partes, pero no consigue expresarla en terminología técnica.	Reconoce la funcionalidad de la mayoría de las partes, y utiliza someramente terminología técnica para describirla (como multiplicador, reductor, ventaja mecánica, etc.).	Define correctamente la funcionalidad de todas las partes, y utiliza para ello un lenguaje técnico apropiado (como multiplicador, reductor, ventaja mecánica, etc.).
Interpretación de los principios físicos subyacentes en el funcionamiento de los mecanismos.	No reconoce todavía la relación entre principios físicos y funcionamiento de un mecanismo.	Entiende que los mecanismos se basan en principios físicos, pero no logra establecer relaciones entre ellos.	Identifica alguna relación entre mecanismos, o partes de ellos, y principios físicos.	Identifica la totalidad de las relaciones entre los mecanismos y sus partes con los principios físicos subyacentes.

Tabla AIII-0-1: Rúbrica de evaluación de la Actividad 1. (Fuente: elaboración propia).

Actividad 2. Documentación				
Aspecto a evaluar	Nivel 1. En proceso de logro	Nivel 2. Logro suficiente	Nivel 3. Logro notable	Nivel 4. Logro excelente
Recopilación de la documentación apropiada.	No consigue todavía encontrar ningún tipo de documentación.	La documentación que recoge no se corresponde del todo con el mecanismo objeto de estudio.	La documentación que recoge se corresponde con el mecanismo objeto de estudio, pero es demasiado somera.	La documentación que recoge se corresponde con el mecanismo objeto de estudio y es exhaustiva.
Elaboración de documentación propia.	No consigue todavía elaborar ningún tipo de documentación.	La documentación que elabora es incorrecta.	La documentación que elabora es correcta, pero demasiado somera.	La documentación que elabora es correcta y describe en profundidad el mecanismo objeto de estudio.

Tabla AIII-0-2: Rúbrica de evaluación de la Actividad 2. (Fuente: elaboración propia).

Actividad 3. Diseño				
Aspecto a evaluar	Nivel 1. En proceso de logro	Nivel 2. Logro suficiente	Nivel 3. Logro notable	Nivel 4. Logro excelente
Identificación de un problema.	No consigue todavía identificar un problema apropiado para ser resuelto por el mecanismo objeto de estudio.	Identifica un problema, pero cuya solución no se adapta del todo a las características del mecanismo.	Identifica un problema cuya solución se adapta a las características del mecanismo, pero que podría ser resuelto mejor a través de otros mecanismos.	Identifica un problema para cuya solución el mecanismo objeto de estudio resulta el más apropiado.
Planteamiento de un diseño que resuelva un problema.	No consigue todavía concebir el modo de resolver un problema a través de un diseño.	Idea un diseño que podría resolver el problema identificado pero que requeriría alguna modificación o mejora.	Idea un diseño que podría resolver el problema identificado, sin necesidad de modificaciones, pero no consigue representarlo adecuadamente.	Idea un diseño que podría resolver el problema identificado, y lo representa adecuadamente.

Tabla AIII-0-3: Rúbrica de evaluación de la Actividad 3. (Fuente: elaboración propia).

Anexo IV. Prueba de evaluación pretest-postest





	Mecanismo	Pregunta	Respuesta	Puntuación
Palanca de leva		1. ¿La palanca de leva ofrece ventaja mecánica o desventaja mecánica?		
		2. ¿En qué posiciones se encuentran el fulcro, el punto de aplicación de la fuerza, y el punto de aplicación de la resistencia?		
		3. ¿De qué tipo de palanca se trata (primer grado, segundo grado o tercer grado)?		
Abrazadera de palanca		4. ¿Cuál de las diferentes partes del mecanismo es el brazo de la fuerza?		
		5. ¿Sobre qué punto del brazo de la fuerza se obtiene una mayor ventaja mecánica?		
		6. ¿Cómo tendría que ser el brazo de la fuerza para que la abrazadera proporcionase mayor ventaja mecánica?		
		7. ¿Cuál de los tres pernos de conexión tiene la función de fulcro de palanca?		
Motor neumático de diafragma		8. ¿Cuál es el origen de la fuerza motriz en este mecanismo?		
		9. ¿Qué tipo de transformación del movimiento produce este mecanismo?		
		10. ¿De qué tipo son los engranajes que se ven en el modelo?		
		11. ¿Qué función tienen estos engranajes?		
		12. ¿Para qué sirve la membrana que está en contacto con el pistón?		
Engranajes Nautilus		13. Suponiendo que la velocidad del engranaje conductor fuese constante, ¿sería también constante la del engranaje conducido?		
		14. ¿En qué momento los dos engranajes giran a la misma velocidad?		
		15. ¿En qué circunstancias los engranajes actúan como un mecanismo multiplicador, y en cuáles como reductor?		

Tabla AIV-0-1: Prueba de evaluación pretest-postest. (Fuente: elaboración propia).