

Aprendizaje en Realidad Virtual: impacto en la carga cognitiva y el rendimiento del alumnado universitario

Virtual Reality Learning: Impact on Cognitive Load and Student Performance

Julio Cabero-Almenara

Universidad de Sevilla. Sevilla, España
cabero@us.es

María Miravete-Gracia

Universidad Internacional de Andalucía. Málaga, España
maria.miravetegracia@estudiante.unia.es

Antonio Palacios-Rodríguez

Universidad de Sevilla. Sevilla, España
aprodriguez@us.es

Resumen

La Realidad Virtual (RV) se consolida como una herramienta educativa capaz de mejorar la experiencia de aprendizaje mediante entornos inmersivos. En esta investigación, se explora la efectividad de los objetos de aprendizaje en RV en términos de adquisición de conocimientos, percepción estudiantil y carga cognitiva, participan 132 estudiantes universitarios del Grado en Pedagogía y se emplea un diseño preexperimental pretest-posttest, utilizando cuestionarios de elección múltiple y escalas adaptadas para evaluar las dimensiones mencionadas. Se identificaron diferencias significativas entre pretest y posttest, indicando una mejora en la adquisición de conocimientos. La carga cognitiva global fue moderada, destacando la carga pertinente como positiva. Estos hallazgos refuerzan la teoría de la carga cognitiva y subrayan la importancia del diseño instruccional en RV. Por tanto, los objetos de aprendizaje en RV, bien diseñados, son herramientas efectivas para facilitar el aprendizaje, aunque es necesario seguir investigando en contextos diversos y con dispositivos inmersivos.

Palabras clave: Realidad Virtual, Rendimiento, Carga Cognitiva, Tecnología Educativa, Educación Superior.

Abstract

Virtual Reality (VR) is consolidating as an educational tool capable of enhancing the learning experience through immersive environments. This research explores the effectiveness of VR learning objects in terms of knowledge acquisition, student perception, and cognitive load. 132 undergraduate students from the Bachelor's Degree in Pedagogy participated. A pre-experimental pretest-posttest design was used, utilizing multiple-choice questionnaires and adapted scales to assess the aforementioned dimensions. Significant differences were identified between pretest and posttest, indicating an improvement in knowledge acquisition. The overall cognitive load was moderate, highlighting the relevant load as positive. These findings reinforce cognitive load theory and underscore the importance of instructional design in VR. Therefore, well-designed VR learning objects are effective tools for facilitating learning, although further research is needed in diverse contexts and with immersive devices.

Key words: Virtual Reality, Performance, Cognitive Load, Educational Technology, Higher Education.

1. Introducción

En la actualidad el profesorado tiene a su disposición una diversidad de tecnologías como no ocurría en otros momentos. Tecnologías que como ponen de manifiesto los diferentes informes realizados por Educause conocidos por Informes Horizon y por la Open University (Kukulska-Hulme et al., 2023 y 2024; Pelletier et al., 2023a y 2023b), están ampliándose constantemente y están organizando nuevas situaciones problemáticas a resolver y aspectos a considerar para su incorporación a los escenarios de aprendizaje (Palacios-Rodríguez et al., 2025).

Dentro de estas tecnologías, unas de las tecnologías que destacan, son la Realidad Extendida o Mixta (RE), Realidad Virtual (RV) y la Realidad Aumentada. Tecnologías que se están consolidando como fundamentales en el ámbito educativo, al revolucionar tanto los métodos de enseñanza como las experiencias de aprendizaje mediante la implementación de entornos inmersivos, simulaciones interactivas y el desarrollo de metodologías activas de aprendizaje (Joosten et al., 2020; Kukulska-Hulme et al., 2023; Wang et al., 2024).

El avance e interés por el uso de la presencia de estas tecnologías en el terreno educativo, puede observarse con claridad en el aumento de metaanálisis de investigaciones que se publican en los últimos años (AlGerafi et al., 2023; Ángulo et al., 2023; Conradet al., 2024; González et al., 2024; Qiu et al., 2024; Shah et al., 2024; Sümer y Vaněček, 2024). Metaanálisis que indican, tanto un aumento de las investigaciones sobre estas tecnologías, como su utilidad para incrementar la motivación de los estudiantes, la eficacia en la transferencia de nuevos conocimientos y en el aprendizaje de nuevas habilidades, reducción de los costes de formación, posibilidad para los aprendices de mejorar la comprensión de conceptos abstractos, permiten la experimentación sin los riesgos asociados, especialmente con sustancias peligrosas, presentan una alta aceptación de esta tecnología por parte de ellos, que las investigaciones son mayoritariamente cuantitativas, y, lo que es particularmente relevante para nuestro estudio, la falta de investigaciones sobre el diseño de objetos de aprendizaje efectivos para la enseñanza.

Por lo que se refiere a su conceptualización, se puede señalar que las tres tecnologías a menudo se utilizan de manera intercambiable para describir experiencias que varían desde la inmersión completa en un entorno digital hasta la superposición de elementos virtuales en el mundo físico (Cabero-Almenara, 2023). Representando estas nuevas formas de interacción y percepción del entorno, que como señalan Rauschnabel et al. (2022), fundamentalmente se diferencian desde la perspectiva de si se necesita, o no, el entorno físico al menos visualmente, para la realización de la experiencia. Siendo la RE una combinación de la RA y RV.

En definitiva, como han señalado Cabero-Almenara et al., (2022, p. 12) existen diferencias entre la RA y RV “ya que, en la segunda, los datos virtuales sustituyen a los físicos, creándose una nueva realidad. Por el contrario, en la realidad aumentada, las dos realidades se superponen en distintas capas de información en formatos diversos (imágenes generadas por ordenador, secuencias de vídeo, animaciones, etc.) para configurar una nueva realidad que es con la que interacciona la persona.”

Respecto a la RV, se puede entender como “un entorno que puede ser de apariencia real o no, que da al usuario la sensación de estar inmerso en él. Como norma general, este entorno es generado por un sistema informático y visualizado por el usuario mediante un dispositivo específico como pueden ser un casco o unas gafas y dependiendo del sistema y de lo elaborado e inmersivo que pretenda ser, puede estar acompañado de otros elementos como sensores de posición y movimiento, guantes, sonido, elementos como mandos para desplazarse o manipular los objetos del entorno, etc.” (Navarro et al., 2019, p.37).

Dentro de la RV, se pueden dar diferentes tipos en función del grado de inmersión que facilita la experiencia, distinguiéndose dos tipos básicos: inmersiva y no inmersiva o de escritorio (Caballero et al., 2020; Mulders et al., 2020). Que se diferencian en que en el primer caso se requieren dispositivos especiales para establecer la interacción como las gafas HMD, mientras que en el segundo la interacción se establece a través de dispositivos tradicionales, como tabletas, teclados y ratones.

Cada una de las versiones, presentan sus ventajas e inconveniente, pues mientras la inmersiva facilita que los estudiantes aprendan y exploren de manera más activa en entornos seguros, también presenta una serie de inconvenientes, como son el costo de producción, la sensación de agobio y distracción del estudiante (Chen, 2024). Influyendo en el tipo y calidad de interacción, las características del estudiante (Huang et al., 2024; Por otra parte, tanto una como otra, se han mostrado de manera significativa de cara a la adquisición de aprendizaje por los estudiantes (Antonopoulos et al., 2024; González et al., 2024; Lobanova et al., 2024); pues como encontró Yudintseva (2024) en su investigación el orden de las tareas y los métodos de instrucción orientados a la acción tenían un mayor impacto que la modalidad de RV con la que interaccionaba el estudiante.

Con la investigación se pretende ampliar el conocimiento que se dispone en la actualidad sobre estas tecnologías para su implantación en las enseñanzas universitarias, y más específicamente sobre cómo diseñar los objetos de aprendizajes basados en estas tecnologías para favorecer, por una parte la adquisición de información, y por otra para la reducción de la carga cognitiva que deben invertir los estudiantes en el procesamiento de la información.

2. El diseño de objetos de aprendizaje en Realidad Virtual

Una diversidad de metaanálisis de investigaciones sobre el uso educativo de la RA, RV y RE destacan varios aspectos relevantes, entre los que se pueden señalar: el incremento significativo de las publicaciones sobre esta temática en los últimos años, el hecho de que estas tecnologías despiertan la motivación en los estudiantes, y la elevada aceptación por los estudiantes. Lo que resulta de particular interés es la carencia de investigaciones centradas en el diseño de estos objetos de aprendizaje para garantizar su eficacia en la enseñanza (Muñoz-Saavedra et al., 2020; Radianti et al., 2020; AlGerafi et al., 2023).

Este tipo de investigaciones resulta fundamental, ya que, como ha demostrado la investigación en el ámbito de la Tecnología Educativa, el diseño de los recursos tecnológicos impacta significativamente en el aprendizaje. Y por tanto es una cuestión se ha convertido en una línea constante de investigación en esta disciplina (Reeves y Lin, 2020; Cabero-Almenara y Valencia-Ortiz, 2021).

Si la cuestión del diseño de los objetos de aprendizaje en formatos RA, RV y RE es un aspecto importante, es pertinente formular una serie de preguntas esenciales, tales como: ¿bajo qué principios se podrían diseñar estos objetos? y ¿qué elementos se deberían contemplar para su producción? Cuestiones que también se destacan en el terreno de la inclusión educativa (Ausín et al., 2023; López-Belmonte et al., 2024). Diversos son los elementos que se pueden utilizar para la producción de los materiales en formato de RE, RV y RA, que pueden diferenciarse en función de sus características. Entre estos elementos destacan la presentación de la información (textual, auditiva, visual o audiovisual), las opciones de interacción del usuario, el nivel de libertad o dirección en el movimiento, la incorporación de mecanismos de evaluación, la contextualización de los contenidos mediante esquemas o mapas, el rol del presentador de la información, el uso de herramientas interactivas como “puntos calientes” y la inclusión de sumarios informativos.

Algunos estudios sugieren que la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia, desarrollada inicialmente por Mayer (2002), ofrece un marco conceptual sólido para abordar estos desafíos. Según Mulders et al., (2020), esta teoría se basa en tres principios clave:

- Teoría de la codificación dual: Las personas procesan la información a través de dos canales principales, uno para estímulos verbales y otro para visuales, lo que enfatiza la importancia de integrar ambos tipos de contenido en el diseño de los recursos.
- Capacidad limitada de los canales cognitivos: Basada en la teoría de la carga cognitiva (Camp et al., 2022), este principio subraya que la memoria de trabajo es limitada, por lo que el diseño debe evitar elementos que aumenten innecesariamente la sobrecarga cognitiva.
- Procesamiento cognitivo activo: El aprendizaje se potencia cuando los estudiantes participan activamente en la selección, organización e integración de nueva información con sus conocimientos previos, lo que requiere estrategias de diseño que promuevan esta interacción.

Principios que aportan diferentes recomendaciones específicas para el diseño de materiales, como reducir elementos distractores, aplicar el principio de redundancia, emplear señalizaciones que guíen la atención, y presentar información mediante texto hablado acompañado de imágenes en lugar de texto escrito, lo que resulta particularmente útil para contenidos menos complejos.

Además de estos principios para el diseño de estos objetos de aprendizaje puede ser útilidad segmentar la información, principio que sugiere dividir los materiales complejos en unidades manejables, y diseñar contenidos que fomenten la actividad y participación del estudiante (Alpizar et al., 2020; Mulders et al., 2020; Mayer et al., 2023).

Por otra parte, es crucial tener en cuenta que los materiales en formato RE y RV pueden generar altos niveles de excitación emocional, lo que podría incentivar una interacción más lúdica que académica (Makransky et al., 2019; Parong y Mayer, 2021). Por ello, la incorporación de estrategias como los "puntos calientes", que ofrecen información complementaria en distintos formatos (imágenes, vídeos, animaciones, audios), y el uso

de vídeos en 360º, han demostrado ser enfoques eficaces para enriquecer la experiencia educativa (Cabero-Almenara et al., 2023; Christopoulos et al., 2023; Chen et al., 2024).

Finalmente hay que señalar, que una diversidad de investigaciones (Cabero-Almenara, et al., 2023; Jiang et al., 2023; Cruz et al., 2024; Michel-Acosta et al., 2024; Palacios-Rodríguez et al., 2024), están poniendo de manifiesto la significación de considerar los aspectos apuntados para crear objetos de aprendizajes eficaces y aceptables para los estudiantes. Pero aún sigue siendo necesario realizar investigaciones sobre esta temática, pues faltan protocolo para su diseño (Sosa, 2024).

3. La teoría de la carga cognitiva y su utilización aplicada a las TIC.

La "Teoría de la Carga Cognitiva" (TCG) se ha consolidado como una de las propuestas más relevantes para comprender los procesos de aprendizaje en las personas. Y se define la carga cognitiva como el peso que una tarea específica impone sobre los recursos mentales del estudiante. Según Paas et al. (2003, p.64), la carga cognitiva se entiende como "la cantidad de recursos mentales que una persona pone en juego cuando realiza una tarea en un entorno específico". De manera similar, Chandler et al. (2011, p.102) la describen como "la cantidad de esfuerzo mental que gasta una persona". Mediante esta teoría se enfatiza la relación entre las demandas cognitivas de una tarea y la capacidad del individuo para afrontarlas (Pernett-Cárdenas, 2018).

Dentro de su concepción diversos autores han identificado distintos tipos de carga cognitiva, y en este sentido Leppink et al. (2014), identifican tres tipos principales de carga cognitiva: intrínseca (IL), externa (EL) y pertinente (GL). Que las caracterizan en los siguientes términos:

- A. Carga intrínseca. Este tipo de carga cognitiva está determinada por la complejidad inherente del material o tarea que el estudiante debe aprender. Dos factores clave influyen en su configuración: la dificultad del contenido a aprender y el conocimiento previo del estudiante sobre dicho contenido; es decir, de su formación previa. Es importante señalar que la carga intrínseca solo puede modificarse alterando lo que se necesita aprender o cambiando la experiencia previa del aprendiz (Sweller et al., 2019; Pass y Sweller, 2023).
- B. Carga externa. La carga externa está asociada a los elementos instructivos o de diseño que no contribuyen de manera positiva al aprendizaje, como características irrelevantes o poco funcionales de la tarea o los materiales de enseñanza. A diferencia de la carga intrínseca, la carga externa puede ser gestionada eficazmente mediante la mejora de los procedimientos de instrucción y la optimización de los recursos pedagógicos utilizados (Sweller et al., 2019; Pass y Sweller, 2023); es decir, es un tipo de carga que se relaciona directamente con cómo se enseña y se presenta la información.
- C. Carga pertinente. También conocida como carga germana, se relaciona con los procesos mentales que intervienen en la adquisición de conocimientos y la transferencia de información desde la memoria de corto plazo hacia la memoria a largo plazo, favoreciendo la formación de esquemas y patrones. Este tipo de carga está directamente vinculada con las cualidades que son beneficiosas para el aprendizaje, y es consecuencia directa de un buen diseño del material. Sweller et al. (2019) explican que la carga pertinente depende del equilibrio entre la carga intrínseca y la carga externa: "Cuantos más recursos se deban dedicar a lidiar con

la carga cognitiva externa, menos estarán disponibles para gestionar la carga cognitiva intrínseca, y, en consecuencia, el aprendizaje será menos efectivo" (p.254).

Sweller et al. (2019) explican que esta teoría tiene como objetivo analizar cómo la carga impuesta por las tareas de aprendizaje puede influir en la capacidad de los estudiantes para procesar información nueva y construir conocimiento en la memoria a largo plazo. En esencia, la teoría integra conocimientos sobre la arquitectura cognitiva humana para optimizar las condiciones de enseñanza y aprendizaje, considerando tanto las metodologías tradicionales como aquellas mediadas por tecnologías (Sepp et al., 2019).

Por su parte, el Centre for Education Statistics and Evaluation (2017) subraya que la teoría de la carga cognitiva proporciona una base teórica y empírica para el diseño de modelos de instrucción explícitos. Según sus investigaciones, las estrategias pedagógicas resultan más efectivas cuando se alinean con los principios del funcionamiento cognitivo del cerebro humano. En particular, se destaca que, aunque existe un límite en la cantidad de información nueva que puede procesarse simultáneamente, no hay restricciones en la cantidad de información previamente almacenada que puede manejarse al mismo tiempo (Fuente, 2017). Teoría que de acuerdo con la institución Education Centre for Education (2017, p.2): "se basa en dos ideas comúnmente aceptadas. La primera es que hay un límite para la cantidad de información nueva que el cerebro humano puede procesar al mismo tiempo. La segunda idea es que no existen límites conocidos acerca de la cantidad de información ya almacenada que se puede procesar al mismo tiempo."

Uno de los aspectos más complejo de la aplicación de la TGC se refiere a su evaluación. Y para ello existen dos enfoques, uno que se apoya en métodos objetivos y otro en los subjetivos (Brünken et al., 2003; Sweller et al., 2010; Pernett-Cárdenas, 2018; Castro-Meneses, Kruger y Doherty, 2020). Por lo que se refiere a los subjetivos señalar que se basan en indicadores observables y medibles, como el número de errores cometidos durante la realización de una tarea, el desempeño en actividades de doble tarea, el tiempo requerido para completar la tarea, así como medidas fisiológicas, entre ellas la actividad registrada mediante electroencefalograma (EEG). Por el contrario, los subjetivos, se centran en autoinformes proporcionados por los individuos sobre el esfuerzo mental que consideran haber invertido en la tarea. Estas evaluaciones dependen de la percepción y experiencia personal, lo que las hace útiles para capturar aspectos cualitativos del esfuerzo cognitivo.

Pero independientemente de esta preocupación, también al trabajar con esta teoría no se debe perder de vista otras preocupaciones, que de acuerdo con Education Centre for Education (2017, p.5): "se dividen en tres categorías: problemas con las definiciones de carga cognitiva, preocupaciones sobre el rigor metodológico de la investigación y problemas con su generalización externa."

Si bien algunos autores, como Naismith et al. (2015), sugieren que la integración de ambos enfoques —métodos mixtos— es la estrategia más adecuada para obtener una comprensión más completa y precisa de la carga cognitiva, combinando datos objetivos con percepciones individuales del esfuerzo mental.

Respecto a los autoinformes han surgido una diversidad de ellos: NASA-TLX (Díaz et al., 2010), la escala SWAT (Subjective Workload Assessment Technique) (Reid et al., 1988), la ESCAM (Escala Subjetiva de Carga Mental de Trabajo) (Rolo et al., 2009), o la escala elaborada por Leppink et al. (2014).

En esencia, la teoría de la carga cognitiva plantea que toda actividad que debe ejecutar un individuo implica la activación de recursos cognitivos. Por tanto, es fundamental que dicha inversión mental sea optimizada. En este sentido, el docente desempeña un papel clave al seleccionar recursos pedagógicos adecuados y diseñar tareas de manera efectiva, con el fin de facilitar el procesamiento de la información sin imponer una sobrecarga mental al estudiante. Y como señalan Palacios-Rodríguez et al (2024, p.4): “ello tiene que ver con la relación que se establece entre las características de la tarea y las características cognitivas del estudiante.”

Existe una cierta tradición en la investigación centrada en los objetos de aprendizaje producidos en RA, RV y RE, en conocer si la utilización de estos recursos, por una parte, puede reducir la carga cognitiva con que se enfrentan los estudiantes a la hora de abordar el proceso de enseñanza-aprendizaje, y por otra, cómo diseñarlos para que la carga cognitiva que le supone al estudiante interaccionar con recursos multimedia implique el menor esfuerzo posible. Y bajo esta perspectiva se han realizado diferentes trabajos (Birt et al., 2017; Albus et al., 2021; Bautista et al., 2022; Angulo, et al., 2023; Oje et al., 2023; Fink et al., 2023; Zhang y Liu, 2023) que han puesto de manifiesto diferentes aspectos a considerar para disminuir la carga cognitiva como: que la incorporación de anotaciones, que la complejidad del material aumenta la carga cognitiva externa, que la incorporación de “puntos calientes” disminuye la carga cognitiva, o que la carga cognitiva aumenta si el material está mal diseñado.

En definitiva, que la utilización de objetos de aprendizaje en formato RA, RV o RE, si existe un adecuado diseño del objeto y una pertinente utilización por el docente, no supone un aumento de la carga cognitiva en el estudiante (Kaplan-Rakowsk y Gruber, 2023), y puede facilitar la adquisición de la información por el estudiante y la realización de prácticas educativas activas.

4. Metodología

4.1. Objetivos

Los objetivos perseguidos en la investigación se declaran en los siguientes términos:

1. Conocer si existen diferencias significativas entre las puntuaciones alcanzadas por los estudiantes entre el pretest y postest, tras participar en una experiencia con objetos de aprendizaje en RV.
2. Investigar la carga cognitiva que experimentan los estudiantes al interactuar con objetos de aprendizaje desarrollados en modalidad de RV.
3. Analizar las relaciones entre los diferentes tipos de carga cognitiva generada durante la interacción con objetos de aprendizaje en RV.
4. Examinar la relación entre el rendimiento alcanzado por los estudiantes en la interacción con objetos de aprendizaje en formato RV, y la carga cognitiva invertida en la interacción con la experiencia.
5. Conocer las percepciones que los estudiantes habían tenido tras la interacción con el material.

4.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación fue de carácter preexperimental, tipo pretest-postest de un solo grupo. En ellos, como señala Sans (2004), se aplica un pretest al grupo de sujetos, después se les administra un tratamiento, y al final se aplica un postest, para conocer si se han producido diferencias. En consecuencia, los estudiantes, realizaron un cuestionario de elección múltiple de cuatro opciones con una sola respuesta correcta, posteriormente interaccionaban con el objeto producido en RV y después se le administraba el postest y la prueba de carga cognitiva.

Hay que señalar que para evitar el “efecto novedad”, que condicionan los resultados alcanzados cuando los estudiantes interaccionaban por primera vez con una tecnología (Cabero-Almenara y Valencia-Ortiz, 2021), en una sesión anterior se les habló a los estudiantes sobre las posibilidades educativas de la RA y RV, facilitándoles también una diversidad de objetos producidos en RA y RV, para que interaccionaran con ellos y con ello tuvieran una experiencia previa con la tecnología. Al finalizar de esta sesión inicial se les administró.

Todos los participantes en este estudio han sido previamente informados sobre sus objetivos, metodología y posibles implicaciones, garantizando su comprensión y libre decisión de participación. Asimismo, han otorgado su consentimiento informado de manera expresa antes de la recopilación de cualquier dato. La información recogida ha sido tratada de forma totalmente anonimizada, asegurando la confidencialidad y protección de la identidad de los participantes. Este estudio cumple rigurosamente con los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki, garantizando el respeto a la privacidad, la integridad y los derechos de todos los involucrados en la investigación.

4.3. Procedimiento e instrumento de evaluación

Dos fueron los instrumentos básicos utilizados en la investigación:

- A. Un cuestionario “ad hoc” destinado al análisis de la adquisición de la información presentada en el objeto en RV, que estaba compuesto por 25 ítems con cuatro opciones de respuesta, y siendo solamente una la verdadera. Y con dos versiones: pretest y postest. Las cuestiones preguntaban sobre contenidos desarrollados en el objeto producido en RV denominado “aula del futuro”. Las preguntas recogían información de las siguientes categorías de la Taxonomía Bloom para la época digital: recordar, comprender y aplicar (Churches, 2020).
- B. Para el análisis de la carga cognitiva, se utilizó una adaptación del instrumento desarrollado por Leppink et al. (2014), ajustada a la tecnología empleada en nuestro estudio que ya fue utilizada en otra investigación (Palacios-Rodríguez et al., 2024). El instrumento consta de 13 ítems, con una escala de respuesta que va del 0 (no es en absoluto el caso) al 10 (completamente el caso), y obtuvo un índice de fiabilidad en el trabajo anteriormente citado obtenido mediante la alfa de Crombach del 0.793, que denota una adecuada fiabilidad. Instrumento que además de medirlas cargas cognitivas interna, externa y pertinente, media también la dimensión “esfuerzo mental”, que puede ser considerado como “el esfuerzo mental es el aspecto de la carga cognitiva que se refiere a la capacidad cognitiva para acomodar las demandas impuestas por la tarea; este aspecto es medido durante la realización de la misma.” (Cardenas, 2018, pp.44-45).

- C. Solicitud de valoración del material por el estudiante, mediante la solicitud de su calificación a través de diferentes adjetivos.

4.4. Muestra

La muestra estuvo formada por 132 estudiantes que cursaban la asignatura de “Tecnología Educativa” del grado de Pedagogía y que se impartía en el segundo curso. De ellos 116 (87,9%) eran mujeres y 16 (12,1%) hombres.

El tipo de muestreo fue no probabilístico y de conveniencia, por la posibilidad que tenían los investigadores para acceder a los sujetos.

4.5. Implementación del objeto

La experiencia se llevó a cabo con un objeto denominado “Aula del futuro”, ¿y estaba dividido en dos grandes sesiones. En la primera, además de plantear las instrucciones de las formas de navegación por el programa, se presentaban las características más significativas de este tipo de aula, la descripción de las diferentes tecnologías que suelen incorporar, el tipo de metodología que se suelen aplicar en este tipo de aula, y las funciones principales a las que se dedican estas aulas. En la segunda, se ofrecían tres ejemplos de aulas del futuro: la de las facultades de educación de las Universidades de Santiago de Compostela y País Vasco, y la del CEP de profesores de Sevilla (Figura 1).

Figura 1.

Sesiones del objeto de aprendizaje producido (Fuente: elaboración propia).



Pero hay que señalar que la presente experiencia solamente se utilizó la parte introductoria y el ejemplo de aula del futuro de la Facultad de Educación de la Universidad de Santiago de Compostela.

Como señalan García-Tudela, Prendes Espinosa y Solano Fernández (2023, 60): “el aula del futuro se entiende como una iniciativa para redefinir los espacios educativos a través de recursos tecnológicos y fomentar una forma de aprender diferente. Tipología de aulas, que se destinan al uso de metodologías activas con los estudiantes apoyándose para ello en una diversidad de tecnologías digitales, que van desde las grabaciones en vídeos, las impresoras en 3D, la robótica, ... (Peña-Acuña, 2023). Y sobre las cuales cada vez se están llevando a cabo más investigaciones y estudios bibliométricos (Fernández-Pacheco, 2024).

Tradicionalmente a través de diferentes metaanálisis de investigaciones se ha llamado la atención, respecto a la falta de estudios centrados en el diseño de estos objetos de

aprendizaje para garantizar su eficacia en la enseñanza (Muñoz-Saavedra, et al., 2020; Radiani et al., 2020; Muñoz-Saavedra et al., 2021; AlGerafi et al., 2023).

Diferentes autores han señalado que los principios a adoptar para el diseño de estos recursos podrían derivarse de la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia (Kartiko et al., 2010). Esta teoría, formulada originalmente por Mayer (2002), y que se apoya en una serie de principios: multimedia (la combinación de imagen, sonido y texto favorece el aprendizaje), contigüidad (aprendemos mejor cuando las imágenes y las palabras que hacen referencia a un mismo contenido se ubican cerca una de la otra), temporalidad (se recuerda mejor la información cuando las palabras y sus imágenes vinculadas se presentan de forma simultánea), modalidad (se recuerda mejor la información cuando se asocia imagen con narración que imagen con texto), redundancia (se aprende mejor cuando las imágenes se acompañan con una narración o mediante texto, pero no con ambas modalidades a la vez), coherencia (ubicar la información estrictamente necesaria y eliminar en consecuencia las imágenes, textos o sonidos que no tienen relación directa con la información a presentar), señalización (incorporar elementos que dirijan la dirección a seguir en el objeto), segmentación (fragmentar la presentación de los contenidos), y preentrenamiento (se debe proporcionar una introducción a los conceptos clave que se abordarán con el objeto de aprendizaje para facilitar la activación del conocimiento previo y preparar la adquisición de nuevos conocimientos) (Mayer, 2021).

Estos principios aportan algunas ideas para el diseño de los materiales: reducir el procesamiento superfluo, y por tanto rescindir de los aspectos que pueden distraer al estudiante, contemplar principios como la redundancia de la información, la utilización de señalizaciones para guiar la atención del estudiante, el principio de modalidad que establece que es mejor presentar imágenes con texto hablado en lugar de escrito. Formato de presentación que conduce a un mejor aprendizaje, al menos para contenidos menos complejos.

Por otra parte, se ha contemplado el principio de la segmentación que recomienda la distribución de material complejo en unidades de aprendizaje más pequeñas, o el diseñar el material desde una perspectiva que implique la actividad del estudiante (Alpizar et al., 2020; Mulders et al., 2020; Mayer et al., 2023).

Principios de diseño que deben ser contemplado de forma muy considerada en el diseño de materiales en formato RE y RV, pues como señalan Parong y Mayer (2021) este tipo de materiales tienden a la excitación emocional y en consecuencia a situarse el estudiante en su interacción en acciones formativas, sino más bien lúdicas (Makransky et al., 2019; Parong y Mayer, 2021; Mayer et al., 2023).

Por lo que se refiere al aspecto de la señalización y guía, puede ser propiciada mediante la incorporación de “puntos calientes” en el programa que ofrezcan información adicional al estudiante en diferentes formatos: imágenes estacionarias, clip de vídeos, animaciones, o podcast de audio (Alpizar et al., 2020), y por otra, ubicando flechas que indiquen el desplazamiento.

Hay que señalar también que la incorporación de vídeos en formato 360º se ha presentado de forma eficaz (Cabero-Almenara et al., 2023; Christopoulos et al., 2023; Chen et al., 2024).

De forma concreta hay que indicar que el objeto se han incorporado diferentes recursos audiovisuales, como clip de vídeos, animaciones, presentaciones Polimedia son recursos audiovisuales que integran la imagen del presentador con materiales de apoyo visual, tales como presentaciones en “PowerPoint, Canva o Prezi”, e incorporación de imágenes con escrito progresivo (Figura 2).

Figura 2.

Diferentes tipos de recursos audiovisuales utilizados (Fuente: elaboración propia).



También se han utilizado una diversidad de iconos para facilitar el seguimiento de la información por el usuario, que han ido desde flechas para orientar el desplazamiento, hasta “puntos calientes informativos” (Figura 3).

Figura 3.

Puntos calientes e indicadores de desplazamiento (Fuente: elaboración propia).



Para su realización se utilizaron los siguientes programas:

- Krpano: Implementación del proyecto de RV, montaje de panorámicas y vídeos en 360 grados, más el desarrollo de componentes interactivos.
- Adobe Photoshop: Edición avanzada de imágenes en 360 grados y creación de gráficos, incluyendo carteles de créditos, interfaces de inicio y elementos de navegación.
- Adobe Premiere Pro: Mejora de la resolución y calidad de reproducción de vídeos.
- Insta360 Studio: Procesamiento y montaje de imágenes en 360 grados, y conversión a formato JPG.
- Canva: Diseño de contenidos visuales adicionales y creación de iconos interactivos para la navegación del usuario.

5. Resultados

En primer lugar, se presenta el índice de fiabilidad obtenido del instrumento utilizado para medir la carga cognitiva. Los resultados alcanzados se detallan en la Tabla 1, donde se incluyen los valores obtenidos mediante el cálculo del coeficiente alfa de Cronbach y la omega de McDonald, que son dos de las métricas más empleadas en la evaluación de la consistencia interna de los instrumentos de medición.

Tabla 1.

Índices de fiabilidad del instrumento carga cognitiva y de las diferentes dimensiones que lo conforman.

	Alfa de Cronbach (α)	Omega de McDonald (Ω)
Carga cognitiva interna	0.912	0.901
Carga cognitiva externa	0.902	0.898
Carga cognitiva pertinente	0.916	0.910
Esfuerzo mental	0.924	0.912
Carga cognitiva total	0.915	0.908

Según lo señalado por Mateo (2004), los valores obtenidos reflejan un índice de fiabilidad muy alto, tanto en la puntuación global del instrumento como en cada una de las dimensiones que lo componen. Este nivel de fiabilidad indica que el instrumento no solo es consistente en su conjunto, sino también en la medición específica de los diferentes aspectos o constructos que aborda.

Con el objeto de conocer si había existido aumento de la información tras la interacción con el objeto “Aulas del futuro”, aplicamos la prueba estadístico no paramétrica de Wilcoxon. Formulando para el contraste del primer objetivo las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula (H_0): No existen diferencias significativas entre las puntuaciones obtenidas por los estudiantes, entre las puntuaciones del “pretest” y la del “postest” con un riesgo alfa de equivocarnos de 0.05.

- Hipótesis alternativa (H1): Si existen diferencias significativas entre las puntuaciones obtenidas por los estudiantes, entre las puntuaciones del “pretest” y la del “postest” con un riesgo alfa de equivocarnos de 0.05.

En la Tabla 2, se presentan los valores alcanzados.

Tabla 2.

Estadístico de Wilcoxon para el rendimiento.

	Total pre - Total pos
Z	-4,352
Nivel de significación.	,001

Los valores alcanzados permiten rechazar la H0 a un nivel de significación ≤0,001. En consecuencia, se puede señalar que se han dado diferencias entre las puntuaciones entre el pretest y el postest.

Con el objeto de conocer el tamaño del efecto de la puntuación alcanzada con el estadístico de Wilcoxon, aplicamos la d de Cohen, obteniendo un valor de 0.534, que sugiere un efecto mediano.

A continuación, para saber a favor de qué puntuaciones se daban tales diferencias se aplicó la prueba de rangos. Obteniéndose los valores que se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3.

Prueba de rangos.

		Rango promedio	Suma de rangos
Total_pos - Total_pre	Rangos negativos	19,05	190,50
	Rangos positivos	27,11	1084,50
	Empates		
	Total		

Los resultados indican que las puntuaciones alcanzadas por los estudiantes en el postest son superiores a las del pretest. En consecuencia, se puede señalar que el objeto de aprendizaje producido ha servido para adquirir los conceptos en él presentado.

Por lo que se refiere a la carga cognitiva invertida por el estudiante en la interacción con el objeto de aprendizaje, se presentará inicialmente las puntuaciones medias y desviación típica alcanzadas en cada uno de los ítems del instrumento y en las dimensiones que lo conforman. Los valores se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4.

Medias y desviaciones típicas de los ítems del instrumento carga cognitiva y de las diferentes dimensiones que lo conforman.

Ítems / Dimensión	M	DT
[1] Los contenidos del objeto en RV fueron muy complejos.	4,52	2,11
[2] Las tareas cubiertas del objeto en RV fueron muy complejas.	4,52	2,01
[3] En el objeto en RV se mencionaron términos muy complejos.	4,30	2,18
[4] Invertí un gran esfuerzo mental en la complejidad de esta actividad.	3,80	2,16
[5] Las explicaciones e instrucciones del objeto en RV fueron muy poco claras.	3,56	2,17

[6] Las explicaciones e instrucciones del objeto en RV estaban llenas de términos poco claros.	3,44	2,20
[7] Las explicaciones e instrucciones del objeto en RV fueron, en términos de aprendizaje, muy ineficaces.	3,17	2,09
[8] Invertí un gran esfuerzo mental en entender las explicaciones e instrucciones poco claras e ineficaces incorporadas en el objeto en RV.	3,27	2,31
[9] Esta actividad realmente mejoró mi comprensión del contenido que se desarrolló en el objeto en RV.	7,42	1,73
[10] Esta actividad realmente mejoró mi comprensión de los problemas que se desarrollaron en el objeto en RV.	6,79	1,84
[11] Esta actividad realmente mejoró mi conocimiento de los términos que se mencionaron en el objeto en RV.	7,17	1,94
[12] Esta actividad realmente mejoró mi conocimiento y comprensión de cómo combatir con los problemas cubiertos en el objeto en RV.	7,09	1,82
[13] Invertí un gran esfuerzo mental durante esta actividad para mejorar mi conocimiento y comprensión de los contenidos desarrollados en el objeto en RV.	5,06	2,30
Carga cognitiva interna (ítems 1, 2 y 3)	4,44	1,95
Carga cognitiva externa (ítems (5, 6 y 7)	3,39	1,97
Carga cognitiva pertinente (ítems (9, 10, 11 y 12)	7,13	1,53
Esfuerzo mental (ítems 4, 8 y 13)	4,05	1,91
Carga cognitiva total	4,44	1,95

Para una correcta interpretación de los valores obtenidos debe considerarse que la escala iba de 0 (no es en absoluto el caso) al 10 (completamente el caso). Y por los valores alcanzados se puede señalar, que la interacción con el objeto de RV producido no le supuso una gran inversión cognitiva al estudiante (4,05).

Indicar desde el principio que la carga cognitiva que le ha supuesto al estudiante la interacción con el material es bastante baja (4,05), y por tanto no perjudicial para la realización de la tarea, y en nuestro caso, para la interacción con el material.

Hecho que se Los resultados encontrados apuntan que la naturaleza del objeto o la complejidad de la tarea que se le indicaba a los estudiantes que debían realizar ha sido adecuada, pues la puntuación alcanzada en la carga cognitiva interna o intrínseca (4,44) presenta un valor no superior a la media del intervalo en el cual podían contestar, en consecuencia, ha sido bastante adecuada. Lo mismo ocurre con la carga externa (3,39), que al referirse directamente con la acción de la instrucción y con el diseño del material, que, al ser el valor medio más bajo, indica con claridad la pertinencia del material, tanto desde una perspectiva general, como en la referido a su diseño. Este último hecho se percibe como redundante, puesto que valor medio más elevado ha sido el de la carga cognitiva pertinente (7,13), que se relaciona directamente con el diseño de la instrucción y en nuestro caso con el diseño del objeto de aprendizaje producido en RV.

Otro de los objetivos perseguidos en la investigación fue el analizar si existía relación entre la carga cognitiva invertida por el estudiante y el rendimiento alcanzado. Y para ello se llevó a cabo un coeficiente de correlación de Spearman, alcanzándose los valores que se indican en la Tabla 5.

Tabla 5.

Correlaciones entre las puntuaciones del postest y los diferentes tipos de cargas cognitivas.

Tipo de carga cognitiva	Correlación	Significación
Carga cognitiva interna	-,022	,858
Carga cognitiva externa	-,147	,239
Carga cognitiva pertinente	,170	,173
Esfuerzo mental	-,165	,185
Carga cognitiva total	-,107	,392

Las puntuaciones encontradas señalan diferentes aspectos, en primer lugar, que las correlaciones son bajas y no significativas al nivel de $p \leq 0,05$, y en segundo lugar, que son coherentes con la teoría de la carga cognitiva, pues señalan que tanto la carga cognitiva interna, como externa y global, son de carácter negativo en consecuencia cuando una sube la otra decrece; es decir, mientras la carga cognitiva sea menor hay más posibilidades que el rendimiento alcanzado por el estudiante aumente. Por otra parte, la única carga cognitiva de carácter es la pertinente, lo que supone que cuanto sea más elevada, así lo será el rendimiento. Obtenciones que son coherentes con la teoría de la carga cognitiva.

Finalmente, con el objeto de ampliar la indagación sobre la percepción que los estudiantes tenían respecto al objeto de aprendizaje con el que habían interaccionado, se les formuló la siguiente pregunta: ¿Con qué adjetivos calificarías el objeto que has visto? En la Figura 4, se presenta la nube de palabras construida con los adjetivos indicados

Figura 4.

Nube de palabras con los adjetivos señalados por los estudiantes.



Como puede observarse tres son los adjetivos más utilizados por los estudiantes para valorar el objeto de aprendizaje producido: innovador, interesante y útil. En la Tabla 6, se presentan los cinco adjetivos más señalados, y su frecuencia y porcentaje. Siendo el número total de respuestas ofrecidas por los estudiantes de 189.

Tabla 6.

Frecuencia y porcentaje de los cinco adjetivos más utilizados.

Adjetivo	f	%
Innovador	45	23,81
Interesante	20	10,58
Útil	17	8,90
Creativo	8	4,23
Divertido	6	3,18

Los cinco adjetivos señalados cubrían el 50% de total de las respuestas ofrecidas por los estudiantes.

4. Conclusiones y limitaciones del estudio

Hay que destacar desde el principio que los resultados alcanzados adquieren un mayor significado al haberse controlado el denominado "efecto novedad". Este fenómeno, asociado a la interacción inicial que establece el sujeto con la tecnología, puede influir significativamente en los resultados de las investigaciones relacionadas con el uso educativo de ellas. Al mitigar este factor, se asegura que los datos obtenidos reflejen de manera más precisa y confiable el impacto real de las herramientas tecnológicas en los procesos de enseñanza y aprendizaje, eliminando posibles sesgos derivados de la curiosidad o entusiasmo inicial por la tecnología empleada, que puede llevar al estudiante a sobredimensionarlo.

Los resultados alcanzados en nuestro estudio ponen de manifiesto una serie de aspectos, en relación con los objetivos que se han pretendido alcanzar. En primer lugar, y de manera general, que el objeto producido en formato RV sobre el “Aula del futuro”, se ha mostrado significativo para que los estudiantes adquieran la información que se les presentó en él. Por tanto, se puede concluir que son objetos que pueden ser incorporados en la enseñanza universitaria pues facilitan que los estudiantes capturen la información en ella presentada. Hallazgo que coincide con los encontrados en otros estudios (Marisca et al., 2020; Guo et al., 2024; Liu et al., 2024; Victoria Maldonado et al., 2024). De todas formas, se hace necesario seguir realizando investigaciones sobre el rendimiento pues pocas son las investigaciones que se han centrado en esta variable (Qorbani, et al., 2024).

Hay que señalar también que el índice de fiabilidad del instrumento utilizado para analizar la carga cognitiva ha sido bastante alto, lo que permite apuntar su capacidad para generar resultados confiables en diversos contextos de aplicación. Índice de fiabilidad obtenido que se encuentra en consonancia con los alcanzados en otros trabajos (Palacios-Rodríguez et al., 2024).

En tercer lugar, hay que destacar que el objeto producido que se ha mostrado de manera eficaz, tanto para la adquisición de la información, como para conseguir una adecuada carga cognitiva, que facilite una óptima interacción entre las características cognitivas de los estudiantes y las características de diseño utilizado en la producción del objeto de aprendizaje. En esta línea, hay que apuntar que cada vez van surgiendo más investigaciones que apoyan la producción de estos objetos bajo la perspectiva de la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia (Mayer, 2002; Mayer, 2021; Mayer et al., 2023),

que facilita una adecuada carga cognitiva que permite una adecuada interacción entre el sujeto y el objeto de aprendizaje.

Lo comentado lleva a señalar que el diseño de estos objetos de aprendizaje se deben incorporar una variedad de recursos, como audios, videos con texto escrito y locución, hologramas e imágenes estáticas, pues ello contribuye, no solo a solicitar una demanda cognitiva adecuada al estudiante, sino que el objeto sea valorado por los estudiantes como bastante innovador, interesante y útil. Como han puesto de manifiesto Bautista et al. (2025), la forma en la cual se disponen los objetos en los entornos RA condiciona la carga que invierten las personas en el procesamiento de la información.

El hecho de las bajas correlaciones entre las cargas cognitivas encontradas y el rendimiento del estudiante se podría explicar porque el material no ha sido percibido como complejo por parte de los estudiantes, como lo demuestra que las cargas que deberían ser negativas, de acuerdo con la teoría de este constructo psicológico, así se han mostrado (carga cognitiva interna, externa y global), mientras que la que se debe dar como positiva (carga cognitiva pertinente), y que se refiere a un adecuado diseño instruccional, así se ha comportado.

Aunque ello también podría explicarse porque el material ha sido utilizado bajo la perspectiva de escritorio, siendo las investigaciones donde se han dado cargas cognitivas elevadas, aquellas investigaciones donde se utilizó versiones inmersivas (Makransky y Petersen, 2021; Fokides y Antonopoulos, 2024; Yudintseva, 2024) en las cuales los estudiantes interactuarían con el objeto mediante dispositivos especiales del tipo gafas Meta Quest, que si bien es cierto que aumentan el tamaño del campo visual en comparación con las versiones de escritorio, también lo es que aumentan la carga cognitiva extraña porque los estudiantes tienen que encontrar contenido relevante, específicamente cuando el contenido incluye detalles seductores que no son necesarios para el aprendizaje (Makransky y Petersen, 2021).

Aunque en la investigación no se ha encontrado relación entre la carga cognitiva y el rendimiento adquirido por el estudiante, los resultados obtenidos son coherentes con los principios de la teoría de la carga cognitiva. Esta teoría establece que las tres formas de carga cognitiva —interna, externa y global— se relacionan de manera inversa entre sí; es decir, cuando una de ellas aumenta, las otras tienden a disminuir. En este contexto, una menor carga cognitiva externa e interna facilita un incremento en el rendimiento del estudiante, ya que reduce las barreras asociadas al procesamiento de la información. Por otro lado, la única carga cognitiva que contribuye positivamente al aprendizaje es la carga pertinente, que está directamente relacionada con las tareas relevantes para los objetivos educativos. Esto implica que un aumento en la carga cognitiva pertinente favorece un mayor rendimiento académico, al enfocar los recursos mentales en el procesamiento significativo de la información (Poupard et al., 2025). No obstante, resulta fundamental profundizar en la investigación de las relaciones existentes entre ambas variables.

Al mismo tiempo sería interesante asumir el Modelo Cognitivo Afectivo del Aprendizaje Inmersivo (CAMIL), que adopta la perspectiva teórica de que los medios interactúan con el método, lo que llevaría no solo a trabajar con el diseño de los objetos en RV, sino también a buscar metodologías didácticas a utilizar de forma más útil con estos objetos

de aprendizaje. El modelo se basa en la evidencia de que las tecnologías interactúan con el método, por tanto, se debe investigar los métodos que facilitan las posibilidades de la RV (Klingenberg, et al., 2020; Makransky y Petersen, 2021).

La investigación presenta una serie de limitaciones que deben considerarse para una adecuada interpretación de los hallazgos obtenidos. En primer lugar, el tipo de muestreo empleado no fue aleatorio, lo que podría influir en los resultados y limitar la generalización de las conclusiones. Asimismo, aunque se implementó una sesión específica para mitigar el "efecto novedad" asociado al uso de la tecnología, sería recomendable ampliar el número de estas sesiones para reforzar la validez de los datos recogidos. Por último, se identifica como área de mejora la ampliación del conjunto de preguntas incluidas en el instrumento diseñado "ad hoc" para evaluar los aspectos técnicos y estéticos, así como la facilidad de uso y la utilidad educativa de la tecnología empleada.

Con miras a futuras investigaciones, se proponen diversas líneas de actuación que podrían ampliar y profundizar los hallazgos encontrados. En primer lugar, se sugiere replicar el estudio utilizando contenidos pertenecientes a disciplinas distintas a la Tecnología Educativa, con el fin de explorar la aplicabilidad y eficacia del enfoque en otros contextos académicos. Asimismo, sería valioso realizar una réplica del estudio empleando dispositivos que permitan una experiencia más inmersiva, como gafas de realidad virtual, en lugar de la versión de escritorio, y comparar los resultados obtenidos en ambos escenarios. Por otra parte, otra línea futura de actuación podría ser replicar la investigación con estudiantes de otras universidades, lo que permitiría identificar posibles diferencias atribuibles a variables contextuales o demográficas.

Presentación del artículo: 7 de enero de 2025

Fecha de aprobación: 21 de abril de 2025

Fecha de publicación: 30 de julio de 2025

Cabero-Almenara, J., Miravete-Gracia, M., & Palacios-Rodríguez, A. (2025). Aprendizaje en Realidad Virtual: impacto en la carga cognitiva y el rendimiento del alumnado universitario. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 25(82). <http://dx.doi.org/10.6018/red.644621>

Declaración del autor o de los autores sobre el uso de LLM

Este artículo no ha utilizado para su redacción textos provenientes de un LLM (ChatGPT u otros).

Financiación

Este estudio ha recibido financiamiento a través del Programa Estatal para Promover la Investigación Científica y Tecnológica y su Transferencia, dentro del marco del Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación 2021-2023. Ministerio de Ciencia e Innovación. Número de referencia: PID2022-136430OB-I00.

Referencias bibliográficas

- Albus, P., Vogt, A., y Seufert, T. (2021). Signaling in virtual reality influences learning outcome and cognitive load. *Computers y Education*, 166, 104154. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104154>
- AlGerafi, M. A. M., Zhou, Y., Oubibi, M., y Wijaya, T. (2023). Unlocking the potential: A comprehensive evaluation of augmented reality and virtual reality in education. *Electronics*, 12, 3953. <https://doi.org/10.3390/electronics12183953>
- Alpizar, D., Adesope, O. O., y Wong, R. M. (2020). A meta-analysis of signaling principle in multimedia learning environments. *Educational Technology Research and Development*. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09748-7>
- Ángulo, G., Lewis, F., Plante, P., y Brassard, C. (2023). Estado del arte sobre el uso de la realidad virtual, la realidad aumentada y el video 360° en educación superior. *Edutec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (84), 35-51. <https://doi.org/10.21556/edutec.2>
- Antonopoulos, P., Fokides, E., y Koutromanos, G. (2024). Understanding learning and learning experience in immersive virtual reality. *Technology, Knowledge and Learning*. <https://doi.org/10.1007/s10758-024-09764-z>
- Ausín Villaverde, V., Rodríguez Cano, S., Delgado Benito, V., y Toma, R. B. (2023). Evaluación de una APP de realidad aumentada en niños/as con dislexia: estudio piloto. *Pixel-Bit. Revista De Medios Y Educación*, 66, 87–111. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.95632>
- Bautista, L. E., Maradei, F., y Pedraza, G. (2025). Análisis de la disposición espacial de contenido en entornos de realidad aumentada y su efecto en la carga cognitiva de los usuarios. *Pixel-Bit. Revista De Medios Y Educación*. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.109089>
- Bautista, L., Maradei, F., y Pedraza, G. (2022). Strategies to reduce visual attention changes while learning and training in extended reality environments. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*. <https://doi.org/10.1007/s12008-022-01092-9>
- Birt, J., Moore, E., y Cowling, M. (2017). Improving paramedic distance education through mobile mixed reality simulation. *Australasian Journal of Educational Technology*, 33(6). <https://doi.org/10.14742/ajet.3596>
- Brünken, R., Plass, J., y Leutner, D. (2003). Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 53–61.
- Caballero, M. P., Mejía, C., y Romero, J. (2020). Realidad aumentada vs. realidad virtual: Una revisión conceptual. *Teknos. Revista Científica*, 19(2), 10-19.
- Cabero-Almenara, J. (2023). La realidad extendida en educación. En J. Cabero-Almenara (Coord.), *Buenas prácticas de e-learning XXIII* (pp. 87-148). Aencypel.
- Cabero-Almenara, J., Valencia, R., y Llorente, C. (2022). Ecosystem of emerging technologies: augmented, virtual and mixed reality. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 23, 7-22. <https://doi.org/10.51302/tce.2022.1148>

- Cabero-Almenara, J., y Valencia-Ortiz, R. (2021). Reflexionando sobre la investigación en tecnología educativa. *Revista Innovaciones Educativas*, 23(Número Especial), 7-11. <https://doi.org/10.22458/ie.v23iEspecial.3761>
- Camp, G., Surma, T., y Kirschner, A. (2023). Foundations of multimedia learning. En R. Mayer y L. Fiorella (Eds.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (3^a ed., pp. 17-24). Cambridge University Press.
- Castro-Meneses, L. J., Kruger, J. L., y Doherty, S. (2020). Validating theta power as an objective measure of cognitive load in educational video. *Educational Technology Research and Development*, 68, 181-202.
- Centre for Education Statistics and Evaluation. (2017). *Cognitive load theory: Research that teachers really need to understand*. Sydney: Centre for Education Statistics and Evaluation.
- Chen, Y. (2024). Effects of integrating immersive virtual reality and science-technology-society-environment (STSE) learning on occupational safety and health education. *Innovations in Education and Teaching International*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/14703297.2024.2325650>
- Chen, Y., Li, M., y Cukurova, M. (2024). Unleashing imagination: an effective pedagogical approach to integrate into spherical video-based virtual reality to improve students' creative writing. *Education and Information Technologies*, 29, 6499–6523. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12115-7>
- Christopoulos, A., Pellas, N., Qushem, U., y Laakso, M. (2023). Comparing the effectiveness of video and stereoscopic 360° virtual reality-supported instruction in high school biology courses. *British Journal of Educational Technology*, 54, 987–1005. <https://doi.org/10.1111/bjet.13306>
- Churches, A. (2020). Taxonomía de Bloom para la era digital. *Eduteka*. <https://eduteka.icesi.edu.co/articulos/taxonomiabloomdigital>
- Conrad, M., Kablitz, D., y Schumann, S. (2024). Learning effectiveness of immersive virtual reality in education and training: A systematic review of findings. *Computers y Education: X Reality*, 4, 100053. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2024.100053>
- Cruz, S., Matías, J., Mena, Y., Cobos, Y., y Choez, T. (2024). Optimizando el proceso de enseñanza-aprendizaje en ciencias sociales mediante la realidad virtual 360. *Ciencia Latina*, 8(1), 5817-5838. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.9929
- Díaz, E., Rubio, S., Martín, J., y Luceño, L. (2010). Estudio psicométrico del índice de carga mental NASA-TLX con una muestra de trabajadores españoles. *Revista de Psicología del Trabajo y de las Organizaciones*, 26(3), 191-199.
- Fernández-Pacheco, A. (2024). Análisis bibliométrico sobre las aulas del futuro en educación. *European Public y Social Innovation Review*, 9, 1–19. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-487>
- Fink, M., Eisenlauer, V., y Ertl, B. (2023). What variables are connected with system usability and satisfaction? Results from an educational virtual reality field trip. *Computers y Education: X Reality*, 3, 100043. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100043>

- García-Tudela, P. A., Prendes Espinosa, M. P., y Solano Fernández, I. M. (2023). Aulas del Futuro en España: un análisis desde la perspectiva docente: [Future Classrooms in Spain: an analysis from teachers'perspective]. *Pixel-Bit. Revista De Medios Y Educación*, 67, 59–86. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.98627>
- González, H., Moreno, Y., y D'Andrea, M. (2024). Realidad virtual inmersiva como complemento en la educación odontológica: un proceso de implementación para la docencia. *Educación Médica*, 25, 100931. <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2024.100931>
- Guo, H., Ma, F., y Zhou, Z. (2024). Validation of technology acceptance model for virtual reality usage in collaborative learning to enhance learner performance. *Innovations in Education and Teaching International*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/14703297.2024.297202>
- Huang, X., Zhao, Q., Liu, Y., Harris, D., y Shawler, M. (2024). Learning in an immersive VR environment: Role of learner characteristics and relations between learning and psychological outcomes. *Journal of Educational Technology Systems*, 53(1), 3-29. <https://doi.org/10.1177/00472395231216943>
- Jiang, Z., Zhang, Y., y Chiang, F. (2023). Meta-analysis of the effect of 360-degree videos on students' learning outcomes and non-cognitive outcomes. *British Journal of Educational Technology*, 55, 2423–2456. <https://doi.org/10.1111/bjet.13464>
- Joosten, T., Lee-McCarthy, K., Harness, L., y Paulus, R. (2020). Digital learning innovation trends. *The Online Learning Consortium*.
- Kaplan-Rakowski, R., y Gruber, A. (2023). An experimental study on reading in high-immersion virtual reality. *British Journal of Educational Technology*. <https://doi.org/10.1111/bjet.13392>
- Kartiko, I., Kavakli, M., y Cheng, K. (2010). Learning science in a virtual reality application: The impacts of animated-virtual actors' visual complexity. *Computers y Educación*, 55, 881-891.
- Klingenberg, S., Jørgensen, M., Dandanell, G., Skriver, K., Mottelson, A., y Makransky, G. (2020). Investigating the effect of teaching as a general learning strategy when learning through desktop and immersive VR: A media and methods experiment. *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 2115–2138. <https://doi.org/10.1111/bjet.13029>
- Kukulska-Hulme, et al. (2023). *Innovating pedagogy 2024: Exploring new forms of teaching, learning and assessment, to guide educators and policy makers*. The Open University.
- Kukulska-Hulme, et al. (2024). *Innovating pedagogy 2024: Exploring new forms of teaching, learning and assessment, to guide educators and policy makers*. The Open University.
- Leppink, J., Paas, F., Van Gog, C., y Van der Vleuten, J. (2014). Effects of pairs of problems and examples on task performance and different types of cognitive load. *Learning and Instruction*, 30, 32-42. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.12.001>
- Liu, Z., Zhang, W., y Hu, L. (2024). Can desktop virtual reality effectively enhance academic achievement? —A meta-analysis. *Innovations in Education and Teaching International*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/14703297.2024.2354753>

- Lobanova, O., Fedorova, E., Vobolevich, A., Minakova, P., y Rybakova, L. (2024). Virtual reality technologies for learning English: An example of using Immerse. *International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE)*, 13(6), 4409-4419. <https://doi.org/10.11591/ijere.v13i6.28148>
- López-Belmonte, J., Dúo-Terrón, P., Moreno-Guerrero, A.-J., y Marín-Marín, J.-A. (2024). Efectos de la realidad aumentada y virtual en estudiantes con TEA. *Pixel-Bit. Revista De Medios Y Educación*. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.103789>
- Makransky, G., Terkildsen, T., y Mayer, R. (2019). Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learning and Instruction*, 60, 225–236. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007>
- Makransky, G., y Petersen, G. (2021). The cognitive affective model of immersive learning (CAMIL): A theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational Psychology Review*, 33, 937–958. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>
- Mariscal, G., Jiménez, E., Vivas-Urias, M. D., Redondo, S., y Moreno-Pérez, S. (2020). Virtual reality simulation-based learning. *Education in the Knowledge Society*, 21, Article 11. <https://doi.org/10.14201/eks.20809>
- Mateo, J. (2004). La investigación ex post-facto. En R. Bisquerra (coord.). *Metodología de la investigación educativa*. 195-230, La Muralla.
- Mayer, R. (2002). Multimedia learning. *Psychology of Learning and Motivation*, 41, 85–139.
- Mayer, R. (2021). *Multimedia learning* (3^a ed.). Cambridge University Press.
- Mayer, R., Makransky, G., y Parong, J. (2023). The promise and pitfalls of learning in immersive virtual reality. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 39(11), 2229-2238. <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2108563>
- Michel-Acosta, P., Chaljub-Hasbún, J., Cabero-Almenara, J., Conte-Ayala, Peguero-García, J., y Pepín-Ubrí, J. (2024). Evaluación de una app de realidad aumentada para el aprendizaje sobre cambio climático en estudiantado universitarios: Estudio piloto. *Revista Electrónica Educare*, 28(3), 1-19. <https://doi.org/10.15359/ree.28-3.18595>
- Mulders, M., Buchner, J., y Kerres, M. (2020). A framework for the use of immersive virtual reality in learning environments. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 15(24), 208–224. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i24.16615>
- Muñoz-Saavedra, L., Miró-Amarante, L., y Domínguez-Morales, M. (2020). Augmented and virtual reality evolution and future tendency. *Applied Sciences*, 10, 322. <https://doi.org/10.3390/app10010322>
- Naismith, L. M., Cheung, J. J., Ringsted, C., y Cavalcanti, R. B. (2015). Limitations of subjective cognitive load measures in simulation-based procedural training. *Medical Education*, 49(8), 805-814.
- Navarro, F., Martínez, A., y Martínez, J. M. (2019). *Realidad virtual y realidad aumentada*. Ediciones de la Universidad.

- Oje, A., Hunsu, N., y Dominik, D. (2023). Virtual reality assisted engineering education: A multimedia learning perspective. *Computers y Education: X Reality*, 3, 100033. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100033>
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., y van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38(1), 63-71.
- Palacios-Rodríguez, A., Cabero-Almenara, J., y Serrano-Hidalgo, M. (2024). Educación médica y carga cognitiva: Estudio de la interacción con objetos de aprendizaje en realidad virtual y vídeo 360º. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 78(24), Artículo 3. <https://doi.org/10.6018/red.582741>
- Palacios-Rodríguez, A., Llorente-Cejudo, C., Lucas, M., y Bem-haja, P. (2025). Macroevaluación de la competencia digital docente. Estudio DigCompEdu en España y Portugal. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 28(1), 177–196. <https://doi.org/10.5944/ried.28.1.41379>
- Parong, J., y Mayer, R. E. (2021). Learning about history in immersive virtual reality: Does immersion facilitate learning? *Educational Technology Research and Development*, 69, 1433–1451. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-09999-y>
- Pass, F., y Sweller, J. (2023). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. En *Cambridge University Press* (3ª ed., pp. 73-81).
- Pelletier, K., Robert, J., Arbino, N., Muscanell, N., McCormack, M., Reeves, J., McDonald, B., y Grajek, S. (2023a). *EDUCAUSE Horizon Report: Holistic Student Experience Edition*. EDUCAUSE.
- Pelletier, K., Robert, J., Arbino, N., Muscanell, N., McCormack, M., Reeves, J., McDonald, B., y Grajek, S. (2023b). *EDUCAUSE Horizon Report: Teaching and Learning Edition*. EDUCAUSE.
- Peña-Acuña, B. (coord.) (2023). *El aula del futuro. Experiencias educativas*. Octaedro.
- Pernett-Cárdenas, M. (2018). Carga cognitiva en la lectura de hipertexto. *Zona Próxima*, (28), 42-56.
- Poupard, M., Larrue, F., Sauzéon, H., & Tricot, A. (2025). A systematic review of immersive technologies for education: Learning performance, cognitive load and intrinsic motivation. *British Journal of Educational Technology*, 56(1), 5-41. <https://doi.org/10.1111/bjet.13503>
- Qiu, X. B., Shan, C., Yao, J., y Fu, Q. K. (2024). The effects of virtual reality on EFL learning: A meta-analysis. *Education and Information Technologies*, 29(2), 1379-1405. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11738-0>
- Qorbani, S., Dalili, S., Arya, A., y Joslin, C. (2024). Assessing learning in an immersive virtual reality: A curriculum-based experiment in chemistry education. *Education Sciences*, 14, 476. <https://doi.org/10.3390/>
- Radianti, J., Majchrzak, T., Fromm, J., y Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers y Education*, 147, 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>

- Rauschnabel, P., Felix, R., Hinsch, C., Shahab, H., y Alt, F. (2022). What is XR? Towards a framework for augmented and virtual reality. *Computers in Human Behavior*, 133, 107289. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107289>
- Reeves, T., y Lin, L. (2020). The research we have is not the research we need. *Educational Technology Research and Development*, 68, 1991–2001. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09811-3>
- Reid, G. B., Eggemeier, F. T., y Shingledecker, C. A. (1982). Subjective workload assessment technique. En *Proceedings of the 1982 AIAA Workshop on Flight Testing to Identify Pilot Workload and Pilot Dynamics* (pp. 281-288).
- Rolo, G., Díaz, D., y Hernández, E. (2009). Desarrollo de una escala subjetiva de carga mental de trabajo (ESCAM). *Revista de Psicología del Trabajo y de las Organizaciones*, 25(1), 29-37.
- Shah, S., Mazhar, T., Shahza, T., Khan, M., Ghadi, Y., y Haman, H. (2024). Integrating educational theories with virtual reality: Enhancing engineering education and VR laboratories. *Social Sciences y Humanities Open*, 10, 101207. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.101207>
- Silva, C., y Turrini, R. (2019). Development of an educational mobile application for patients submitted to orthognathic surgery. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 27, e3143. <https://doi.org/10.1590/1518-8345.2904.3143>
- Sosa, R. (2024). Análisis del potencial educativo presencial y a distancia utilizando recursos inmersivos en realidad virtual y aumentada. Tesis doctoral inédita, Universidad de Santiago de Compostela.
- Sümer, M., y Vaněček, D. (2024). A systematic review of virtual and augmented realities in higher education: Trends and issues. *Education and Teaching International*, 1–12. <https://doi.org/10.1080/14703297.2024.2382854>
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., y Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, 31, 261–292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
- Victoria Maldonado, J. J., Fuentes-Cabrera, A., Fernández-Cerero, J., y Sadio-Ramos, F. J. (2024). Influencia de la realidad virtual en el rendimiento académico en educación secundaria a través de un meta-análisis. *Pixel-Bit. Revista De Medios Y Educación*, 71, 107–121. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.104279>
- Wang, Q., y Li, Y. (2024). How virtual reality, augmented reality and mixed reality facilitate teacher education: A systematic review. *Journal of Computer Assisted Learning*, 40, n/a-n/a.
- Yudintseva, A. (2024). An exploration of low- and high-immersive virtual reality modalities for willingness to communicate in English as a second language. *Computers y Education: X Reality*, 5, 100076. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2024.100076>
- Zhang, L., y Liu, G. (2023). A review of factors affecting cognitive load in immersive virtual learning environment. En *2023 IEEE 12th International Conference on Educational and Information Technology* (pp. 48-52).