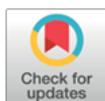




CARGA COGNITIVA Y REALIDAD MIXTA (AUMENTADA Y VIRTUAL)

COGNITIVE LOAD AND MIXED REALITY (AUGMENTED AND VIRTUAL)

CARGA COGNITIVA E REALIDADE MISTA (AUMENTADA E VIRTUAL)



Julio Cabero-Almenara

Universidad de Sevilla, España

<https://orcid.org/0000-0002-1133-6031>

cabero@us.es

Carmen Llorente-Cejudo

Universidad de Sevilla, España

<https://orcid.org/0000-0002-4281-928X>

karen@us.es

Lorena Martín-Párraga

Universidad de Sevilla, España

<https://orcid.org/0000-0002-2406-0708>

lorena@grupotecnologiaeducativa.es

Recibido: 06/10/2023 Revisado:17/10/2023 Aceptado: 21/10/2023 Publicado: 02/11/2023

Resumen: El avance tecnológico hace que emerjan herramientas de vanguardia que logran enriquecer el entorno físico al incorporar elementos virtuales. En el ámbito educativo, esta inmersión tecnológica ofrece experiencias de aprendizaje que avalan una mayor optimización en la adquisición de conocimientos a través de una menor carga cognitiva. Estas tecnologías tienen la capacidad de crear y añadir información desarrollada en entornos virtuales, lo que les confiere un alto nivel de control y conocimiento del mundo real. En este contexto, surge el concepto de Realidad Extendida (RE), que abarcaría tanto la Realidad Aumentada (RA) como la Realidad Virtual (RV). La presente investigación se origina a raíz del proyecto *El Metaverso: la Realidad Extendida (Virtual y Aumentada) en la educación superior: Diseño, Producción, Evaluación y Formación de programas de realidad extendida para la enseñanza universitaria (MEREVIA)*. El objetivo principal es explorar la realidad educativa en relación con el uso de la RE y abordar las diversas circunstancias que pueden surgir al integrar estas tecnologías en la práctica educativa. Para ello, se aplicarán diversas estrategias de recopilación y análisis de datos, tanto cuantitativas como cualitativas. Además, se llevarán a cabo distintas fases de diseño, producción y evaluación de objetos de aprendizaje en diversas áreas de conocimiento.

Palabras claves: Realidad Extendida; Realidad Aumentada; Realidad virtual; Carga cognitiva.

Abstract: Technological progress has led to the emergence of cutting-edge tools that enrich the physical environment by incorporating virtual elements. In the field of education, this technological immersion offers learning experiences that guarantee greater optimisation in the acquisition of knowledge through a lower cognitive load. These technologies have the capacity to create and add information developed in virtual environments, which gives them a high level of control and knowledge of the real world. In this context, the concept of Extended Reality (ER) arises, which would encompass both Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR). The

present research originates from the project *The Metaverse: Extended Reality (Virtual and Augmented) in Higher Education: Design, Production, Evaluation and Training of Extended Reality Programmes for University Education (MEREVIA)*. The main objective is to explore the educational reality in relation to the use of ER and to address the various circumstances that may arise when integrating these technologies into educational practice. To this end, various data collection and analysis strategies, both quantitative and qualitative, will be applied. In addition, different phases of design, production and evaluation of learning objects in different areas of knowledge will be carried out.

Keywords: Extended Reality; Augmented Reality; Virtual Reality; Cognitive load.

Resumo: O progresso tecnológico levou ao aparecimento de ferramentas de vanguarda que enriquecem o ambiente físico através da incorporação de elementos virtuais. No domínio da educação, esta imersão tecnológica oferece experiências de aprendizagem que garantem uma maior otimização na aquisição de conhecimentos através de uma menor carga cognitiva. Estas tecnologias têm a capacidade de criar e acrescentar informação desenvolvida em ambientes virtuais, o que lhes confere um elevado nível de controlo e conhecimento do mundo real. Neste contexto, surge o conceito de Realidade Estendida (RE), que englobaria tanto a Realidade Aumentada (RA) quanto a Realidade Virtual (RV). A presente investigação tem origem no projeto *O Metaverso: Realidade Alargada (Virtual e Aumentada) no Ensino Superior: Conceção, Produção, Avaliação e Formação de Programas de Realidade Alargada para o Ensino Universitário (MEREVIA)*. O principal objetivo é explorar a realidade educativa em relação ao uso da RE e abordar as várias circunstâncias que podem surgir ao integrar estas tecnologias na prática educativa. Para o efeito, serão aplicadas várias estratégias de recolha e análise de dados, tanto quantitativas como qualitativas. Além disso, serão realizadas diferentes fases de conceção, produção e avaliação de objectos de aprendizagem em diferentes áreas do conhecimento.

Palavras-chave: Realidade Estendida; Realidade Aumentada; Realidade Virtual; Carga cognitiva.

Cómo citar este artículo: Cabero-Almenara, J., Llorente-Cejudo, C., y Martín-Párraga, L. (2023). Carga cognitiva y realidad mixta (aumentada y virtual). *Hachetetepe. Revista científica en Educación y Comunicación*, (27), 1-15. <https://doi.org/10.25267/Hachetetepe.2023.i27.2206>

1.UNAS REFERENCIAS A LA MIXTA: VIRTUAL Y AUMENTADA.

Hasta la fecha, diversas tecnologías innovadoras (como la web semántica, la gamificación, la computación en la nube, las analíticas de aprendizaje, los cursos en línea masivos y abiertos, la Internet de las cosas y la realidad aumentada) han cobrado una relevancia significativa impulsadas por una serie de acontecimientos clave. Estos incluyen la creciente relevancia de la web 2.0, la disminución de los costos de equipos tecnológicos y la amplia adopción de dispositivos móviles, entre otros factores determinantes. Tecnologías emergentes que como han sugerido Cabero- Almenara y Llorente-Cejudo (2023): “se caracterizan en general por ser tecnologías innovadoras que aportan mejoras frente a otras más tradicionales ya consolidadas pero que aún no han alcanzado su nivel máximo de madurez, por lo que se encuentran aún en vías de desarrollo y evolución” (2023, p. 14). Y de ellas se pueden indicar que son herramientas e innovaciones metodológicas, que experimentan un ciclo de sobre expectativas y que pueden ser potencialmente disruptivas.

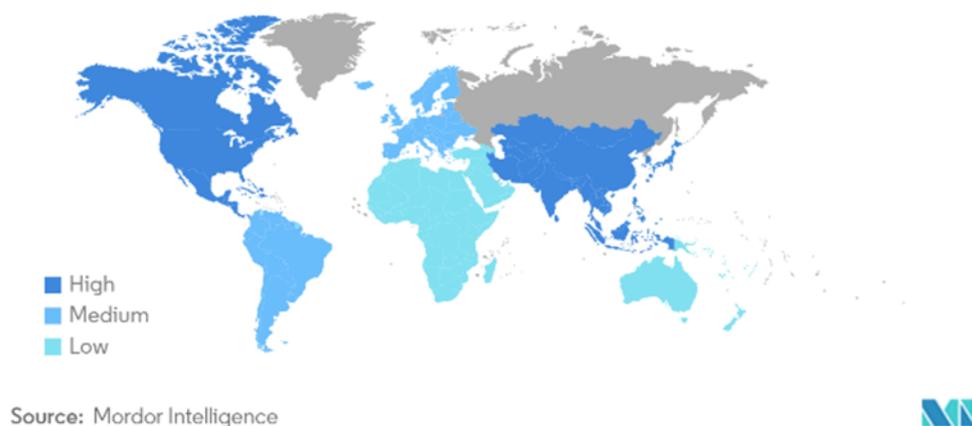
La efectividad de sumergirse en el entorno de lo educativo depende de diseños que aprovechen elementos como la acción, la interacción social, la narrativa y los estímulos sensoriales. La inmersión basada en la acción implicaría permitir que los participantes en

una experiencia tomen acciones que tengan consecuencias nuevas y cautivadoras. Si hablamos de interacción social, la inmersión se relaciona con la colaboración entre individuos que utilizan su entorno virtual para tomar decisiones y actuar. Por otro lado, con respecto a los factores narrativos y simbólicos, estos pueden desencadenar conexiones de significado a través del contenido de la experiencia. Por último, la inmersión sensorial permite una mayor integración de los sentidos en el entorno virtual a través de dispositivos periféricos. Autores como Valdés y Rueda (2023) han conceptualizado esta inmersión como una "forma de existencia, un estado de ser parte de algo", no simplemente como estar "en" algo, como si se tratara de estar en la superficie, sino como formar parte de esa superficie, fusionarse con ella. Se trataría entonces de "una "inmersión", es decir, de una disolución del sujeto en una superficie de inscripción inmaterial" (2023, p.3).

Para lograrlo, una de las tecnologías emergentes es la conocida como "realidad extendida" o "realidad mixta" (RE). Una tecnología, que según los informes Horizon (Brown et al., 2020), se espera que tenga una fuerte presencia en nuestras escuelas y universidades en un plazo de 3 a 5 años. La institución Centromipc, especializada en el análisis de tendencias tecnológicas para pequeñas y medianas empresas y la educación, la identificó como una de las tendencias tecnológicas de vanguardia en la educación ya en 2018, de igual manera que lo hace en la propuesta realizada por la institución "Online Learning Consortium" (2020), que la presenta como una de las tendencias en tecnologías para ser incorporadas a la enseñanza.

Por su parte la institución "Mordor Intelligence", espera que el tamaño del mercado de realidad virtual en términos de valor de envío crezca de USD 67,12 millones en 2023 a USD 202,70 millones para 2028, a una tasa compuesta anual de 24,74 % durante el período de pronóstico (2023-2028). Con un crecimiento especial en América del Norte y Asía —Figura 1—.

Figura 1.
Crecimiento del mercado de la RV



Nota: Crecimiento del mercado de la RV en función de diferentes zonas geográficas.

Fuente: "Mordor Intelligence": <https://acortar.link/Wft00a>

Ahora bien, ¿qué podemos entender por RE?



Hablar de realidad extendida (RE) implica referirse a un nuevo concepto que combina dos tecnologías previas: la Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Virtual (RV). En esencia, se refiere a la creación de una tecnología capaz de generar e incorporar información virtual en un entorno real, con un completo conocimiento y control de este último. Por lo tanto, cuando hablamos de RE, estamos explorando las oportunidades educativas y las características compartidas por la RA y la RV. De manera concisa, la RA se define como la fusión de información digital y física en tiempo real mediante diversos dispositivos tecnológicos. En otras palabras, se trata de la superposición de información virtual sobre la información física, enriqueciendo así la realidad con componentes virtuales. En contraste, cuando nos referimos a la RE, estamos hablando de la sustitución total de un entorno real por uno sintético en tres dimensiones o por contenidos en 360 grados. En otras palabras, se trata de simulaciones generadas por computadora que permiten a los usuarios interactuar con un entorno visual completamente artificial y en tres dimensiones, o con otros aspectos sensoriales de la realidad. De todas formas, como se está aportando por diferentes autores (Rauschnabel, 2022), existe en la literatura científica cierta ambigüedad y confusión a la hora de la utilización de estos términos, donde la frontera entre los mismos no está muy bien definida. Tanto la Realidad RA como la RV comparten características similares que incluyen inmersión, navegación, y la posibilidad de interactuar con los objetos digitales de una manera que da una representación fiel del mundo virtual. Esta fidelidad se refiere no solo a la calidad visual de la pantalla, sino también a la coherencia en el comportamiento de los objetos virtuales, lo que brinda a los usuarios la sensación de estar realmente en ese lugar o la percepción de una "presencia" allí (Cabero-Almenara et al., 2022). Para destacar estas diferencias y similitudes, entre ambos términos, podemos centrarnos en un análisis realizado por Rauschnabel et al. (2022). En este estudio, se establecen las diferencias entre estas tecnologías en función de varios criterios, como la interacción del usuario con el mundo real o natural, el grado de inmersión en la experiencia digital, los costos, la facilidad de uso, el origen de las tecnologías, las etapas de desarrollo, la interconexión y las tecnologías subyacentes.

Este enfoque permite una distinción clara entre la RA y la RV. En la RV, los datos virtuales reemplazan completamente la realidad física, creando una nueva realidad desde cero. Por otro lado, en la RA, ambas realidades coexisten y se superponen en capas de información variadas, como imágenes generadas por computadora, secuencias de video y animaciones. Esto da como resultado una nueva realidad en la que las personas pueden interactuar. La clave radica en que ambas realidades, RA y RV, pueden fusionarse a través de la Realidad Extendida (RE), un sistema híbrido que combina elementos tanto físicos como virtuales. Estos sistemas brindan experiencias totalmente inmersivas, ya sea mediante la creación de objetos en 3D o a través de la utilización de videos en formatos de 360 grados. En última instancia, la RE permite una experiencia que integra lo mejor de ambos mundos, físico y virtual, para una inmersión completa (Tang et al., 2020; Park y Kim, 2022).

Por lo que se refiere a la educación, lo primero que tenemos que señalar, es que la importancia que las tecnologías de RE y RV han despertado en los últimos tiempos, ha traído como consecuencia la realización de diferentes metaanálisis de investigaciones para conocer sus posibilidades (Di Natale et al., 2020; Mass y Hughes, 2020; Radianti et al., 2020; Toala-Palma et al., 2020; Vásquez-Carbonell y Silva-Ortega, 2020; Abich et al., 2021; Howard et al., 2021; Menjivar et al., 2021; Yu, 2021; Roda-Segura et al., 2022).



Metaanálisis que han revelado varios puntos de interés, incluyendo que las áreas de aplicación más frecuentes abordadas por estas tecnologías incluyen campos como medicina, ciencias sociales, neurociencia y psicología; b) que los aspectos más utilizados han sido los referidos a los estímulos (es decir, sensorial, perceptual y contenido), del organismo (es decir, reacciones cognitivas y afectivas), de tipo de respuesta (es decir, resultados positivos y negativos), y de diferencias individuales en el uso de VR (es decir, género, edad, tendencia a la búsqueda de sensaciones e innovación personal); c) que la mayoría de las aplicaciones se han realizado para aumentar la motivación de los estudiantes, la cual parece que aumenta; d) que en los últimos tiempos el porcentaje de investigaciones centradas en RA, RV y RE ha aumentado de manera significativa; e) que se perfilan como de gran relevancia para el futuro de la educación; f) no obstante, es crucial destacar que existe una escasez notable de investigaciones que se dediquen a evaluar los impactos educativos de estas tecnologías. En su lugar, la mayoría de los estudios se centran en aspectos tecnológicos. Además, estas tecnologías: g) facilitan la creación de una auténtica experiencia inmersiva; h) existen investigaciones que demuestran su eficacia para mejorar el proceso de aprendizaje de los estudiantes; i) suelen llevarse a cabo investigaciones poco rigurosas con problemas metodológicos que carecen de relevancia en el ámbito educativo; j) es una herramienta que potencia la innovación educativa; k) se necesitan buscar modelos y marcos educativos en los cuales debe ser insertada; y k) que cuando se utiliza los alumnos muestra altos grados de satisfacción.

Respecto a su incorporación en la enseñanza universitaria, Vergara et al. (2021) y Pérez et al. (2023) señalan que son las áreas de Ciencias de la Salud, de Ingeniería y de Arquitectura donde más ha sido utilizada, además con resultados satisfactorios. Aunque son los estudios realizados en medicina los que están sobresaliendo últimamente (Cabero-Almenara et al., 2023a).

En cuanto a su implementación, a pesar de que se han desarrollado diversas aplicaciones educativas en el ámbito de la Realidad Extendida (Realidad Virtual y Realidad Aumentada), la realidad es que existe una carencia de investigaciones educativas que no se centran tanto en los desafíos relacionados con la infraestructura tecnológica y el software, como han señalado algunos estudios (Brown et al., 2020; Kukulska-Hulme et al., 2022; Abich et al., 2021), sino en la forma en la cual pueden ser diseñados estos objetos de aprendizaje y cómo pueden ser utilizados en la formación. De ahí la necesidad de realizar investigaciones con el propósito de examinar una variedad de cuestiones, como la complejidad en el diseño de estas tecnologías, las teorías del aprendizaje que puedan brindar un respaldo más sólido a su aplicación, las tácticas de implementación efectivas, una evaluación exhaustiva de sus potencialidades en el ámbito educativo, las problemáticas educativas que implican su utilización, las posibles consecuencias la diversidad de formas en las que puede ser utilizada, o el sentido de presencia que generan. Esta necesidad de investigación en muchos de los aspectos mencionados, son algunas de las preocupaciones que nos llevan a la presentación del presente proyecto.

Las investigaciones previas han arrojado una serie de observaciones, que incluyen lo siguiente: la incorporación de estas tecnologías aumenta la motivación de los estudiantes hacia el proceso educativo y los contenidos presentados (Campos et al., 2020; Radianti et al., 2020; Fromm et al., 2021). Además, se ha notado una mejora en la atención de los estudiantes (Campos et al., 2020), un aumento en los resultados de aprendizaje (Fromm et al., 2021; Zhonggen, 2021), altos niveles de satisfacción por parte de los



estudiantes cuando participan en experiencias con este tipo de tecnologías (Fussell y Truong, 2021; Wang y Chuang, 2023), y un estímulo en el desarrollo de la creatividad en los estudiantes (Chang et al., 2023).

Asimismo, cuando se han llevado a cabo comparaciones entre estas tecnologías y los modelos de formación tradicionales, los resultados han favorecido a las experiencias que emplean estas tecnologías (Tang et al., 2020). En cuanto a los tipos de uso de la RE, se han propuesto dos enfoques: de escritorio y el inmersivo (Kamińska et al., 2019; Mulders et al., 2020). La primera, se refiere a su utilización a través de un ordenador con capacidad para reproducir contenidos multimedia, y que permita el desplazamiento a través de un teclado, un ratón o una pantalla táctil (también por medio de una tablet o smartphones); mientras que la "inmersiva" requiere el uso de dispositivos de visualización especiales que aíslan por completo al usuario del entorno físico circundante. Dentro de esta categoría, también se incluyen los espacios conocidos como "cuevas de realidad virtual". Es importante destacar que los resultados y los efectos cognitivos varían significativamente entre las distintas formas de utilización de estas tecnologías (Parong y Mayer, 2021; Zhonggen, 2021), aspecto que será analizado en nuestra investigación, como uno de sus objetivos principales. Además, uno de los problemas que se están apuntando para su incorporación a la formación es la falta de referencias conceptuales para apoyar la forma en la cual deben de ser diseñados estos objetos de aprendizaje para que favorezcan el aprendizaje en contextos educativo. Sin embargo, es importante reconocer que diversas investigaciones han identificado ciertas limitaciones que deben ser consideradas al integrar estas tecnologías en la educación. Entre las restricciones que se pueden identificar, se encuentran la ausencia de estudios, como se hizo referencia con anterioridad, y también elementos como la reciente introducción de esta tecnología (Parong y Mayer, 2021), los costos y el esfuerzo requerido para su implementación (Brown et al., 2020), y la necesidad de disponer de dispositivos especiales para llevar a cabo experiencias de inmersión (Kukulka-Hulme et al., 2022). Debemos considerar estos elementos en nuestro estudio, tomando en cuenta el gasto asociado. En relación a uno de los propósitos de nuestra investigación, se presenta el desafío de la "carga mental", como concepto que indica que los logros educativos se alcanzan cuando los recursos y capacidades mentales son adecuados para atender las demandas de los estudiantes. No obstante, si estos elementos no se cumplen o si la carga mental es excesiva, los resultados educativos serán insatisfactorios (Sweller et al., 2019; Klepsch y Seufert, 2020). Esto también se relaciona con las emociones que los estudiantes experimentan durante la actividad educativa, su nivel de motivación (Aroca- Reyes y Llorente- Cejudo, 2023) y la complejidad de la tarea. Varios estudios (Singh et al., 2021; Albus et al., 2021) han destacado que el uso de recursos de aprendizaje basados en la RE reduce la carga cognitiva que los estudiantes deben afrontar al procesar la información. Ello puede estar perfectamente relacionado respecto a cómo ha sido diseñado el objeto de aprendizaje en RE y la significación que están adquiriendo últimamente estas variables en las investigaciones en TIC, lo que nos ha llevado a incorporarla como objeto de estudio en nuestra investigación.

Diversos autores han destacado la necesidad de establecer una base teórica sólida para respaldar la utilización de estas tecnologías (Morris, 2019; Radianti et al., 2020). Estos han señalado que en muchos estudios se omite la declaración explícita de una teoría de aprendizaje, a pesar de que su declaración sería beneficiosa para la adquisición de habilidades y competencias (Brown et al., 2020). Desde esta perspectiva, se han propuesto



diversos enfoques para su utilización, ya que los recursos creados con estas tecnologías fomentan la interactividad y la inmersión de los estudiantes en los entornos generados por estos materiales, lo que a su vez facilita el aprendizaje a través de la práctica directa por parte de los estudiantes.

Una de las teorías en las que se ha basado este enfoque es en la “Teoría del Aprendizaje Experiencial” de Kolb (2015), la cual se fundamenta en la idea de que el conocimiento se construye mediante la transformación de la experiencia a través de cuatro tipos distintos de habilidades: habilidades basadas en la práctica directa, habilidades relacionadas con la observación cuidadosa y reflexiva, habilidades vinculadas a la formación de ideas abstractas y habilidades ligadas a la participación activa en experimentos. En conjunto, estas teorías permiten que los estudiantes se involucren activamente, participen y se comprometan en el proceso de aprendizaje. Así pues, algunos autores señalan su adecuación al modelo de aprendizaje por competencias (Baena, 2019); y es bajo esta teoría, desde la que se efectuarán las experiencias de nuestro estudio.

2.APROXIMACIÓN A LA TEORÍA DE LA CARGA COGNITIVA

Una de las teorías que ha ido adquiriendo significación respecto a cómo aprenden las personas es la “Teoría de la Carga Cognitiva”. Carga cognitiva que fue definida por uno de los autores que ha tenido mayor significación en su impulso, como el peso que realizar una tarea específica impone en el funcionamiento mental del estudiante (Paas et al., 2003); o dicho en otros términos “la cantidad de recursos mentales que una persona pone en juego cuando realiza una tarea en un entorno específico” (2003, p. 64); o como señalaron en su momento Chandler et al. (2011): “la cantidad de esfuerzo mental que gasta una persona” (2010, p.102) o la relación entre la necesidad de capacidades mentales que una tarea demanda y la capacidad de las personas para proporcionar esas capacidades (Cardenas, 2018).

Como han señalado Sweller et al. (2019): “La teoría de la carga cognitiva tiene como objetivo explicar cómo la carga de procesamiento de información inducida por las tareas de aprendizaje puede afectar la capacidad de los estudiantes para procesar nueva información y construir conocimiento en la memoria a largo plazo” (2019, p. 261).

En definitiva, lo que hace es aplicar lo que se conoce sobre la arquitectura cognitiva humana al estudio del aprendizaje y la instrucción, para generar conocimientos sobre las características y condiciones de la instrucción y el aprendizaje efectivos (Sepp et al., 2019), sea este aprendizaje directo o mediado a través de las tecnologías.

Como especifica el “Centre for Education Statistics and Evaluation” (2017): “la carga cognitiva ofrece sustento teórico y empírico a los modelos explícitos de enseñanza o instrucción. La investigación en la teoría de la carga cognitiva demuestra que las técnicas instruccionales son más efectivas cuando se diseñan acorde a cómo el cerebro humano aprende y utiliza el conocimiento.” Estos dos conceptos se resumen en la idea de que existe un tope en cuanto a la cantidad de nueva información que el cerebro puede asimilar al mismo tiempo, pero no hay restricciones en la cantidad de información ya almacenada que puede ser procesada simultáneamente (Fuente, 2017, p. 2).

En relación a lo mencionado, se plantea la existencia de dos tipos de retentivas: la memoria temporal y la memoria duradera. La memoria temporal es el mecanismo mediante el cual se mantienen pequeñas porciones de información durante un lapso breve. Por otro lado, la memoria duradera se refiere al sistema en el que se guarda información de manera extensa y prolongada.

La carga cognitiva que una persona moviliza depende de una serie de factores y variables: “La carga cognitiva se ve afectada por factores causales y de evaluación (Kirschner, 2002; Paas y van Merriënboer, 1993). Los factores causales incluyen las habilidades cognitivas de los alumnos, la complejidad de las tareas de aprendizaje y los contextos de aprendizaje. La interacción de estos factores causales induce la carga cognitiva que se mide en tres dimensiones: carga mental, esfuerzo mental y rendimiento. La carga mental comparte la carga cognitiva impuesta exclusivamente por la tarea y las demandas contextuales. El esfuerzo mental especifica la capacidad cognitiva realmente asignada a la tarea. El rendimiento es la consecuencia de la carga mental, el esfuerzo mental y los factores causales antes mencionados. Lo aprendido que se refleja en el rendimiento podría evaluarse mediante la adquisición del esquema y la transferencia de los procedimientos aprendidos del procesamiento controlado al automáticamente.

Distintos autores señalan que hay diferentes tipos de carga cognitiva, así Leppink, et al., (2014), que carga intrínseca (IL), carga externa (EL) y carga pertinente (GL). La carga intrínseca se relaciona con la dificultad de la tarea o del material que se pretende que aprenda la persona, y hay dos factores que la condicionan: la complejidad del contenido a aprender y el conocimiento previo que tenga el estudiante de este. La carga cognitiva intrínseca solo se puede cambiar cambiando lo que se necesita aprender o cambiando la experiencia del alumno. las medidas (Sweller et al., 2019).

Por su parte, la carga externa se relaciona con el contenido o la tarea que se enseña, y con las características instructivas que no son beneficiosas para el aprendizaje. A diferencia de la carga cognitiva intrínseca, la externa se puede cambiar cambiando los procedimientos de instrucción y los materiales de enseñanza (Sweller et al., 2019).

Por último, la carga mental se vincula con la presión que se ejerce sobre la capacidad de retención temporal, debido al proceso natural de adquisición de conocimientos, es decir, al acto de transferir información desde la retentiva de corto plazo a la de largo plazo mediante la formación de patrones. Se refiere a las cualidades que son favorables para el proceso de aprendizaje. “con la carga cognitiva intrínseca en lugar de la carga cognitiva externa. Cuantos más recursos se deban dedicar a lidiar con la carga cognitiva externa, menos estarán disponibles para lidiar con la carga cognitiva intrínseca y, por lo tanto, se aprenderá menos. En ese sentido, la carga cognitiva intrínseca y pertinente están estrechamente entrelazadas.” (Sweller et al., 2019).

Por su parte Castro-Meneses et al. (2020) hablan de que la carga cognitiva presenta tres tipos de componentes: “la carga intrínseca (la naturaleza intrínseca y la estructura de la información y cómo esta interactúa con el individuo), la carga externa (la forma en que se presenta la información) y la carga relacionada (la actividad cognitiva requerida para aprender de los estímulos a tener lugar)” (2020, p.182).

Respecto a su medición, que es uno de los aspectos más preocupantes de la teoría, indicar que existen métodos objetivos y subjetivos (Brünken et al. (2003); Sweller; et al., 2010; Pernet- Cárdenas, 2018; Castro-Meneses et al., 2020). En la primera se encuentran medidas como el número de errores cometidos por la persona, la realización de dobles tareas, el tiempo tardado en la realización y ejecución de la tarea, medidas fisiológicas o electroencefalograma; y, en la segunda, autoinformes de la persona sobre el esfuerzo mental invertido. Aunque como sugieren algunos autores (Naismith et al., 2015) es mejor la utilización de métodos mixtos.

Respecto a los autoinformes han surgido una diversidad de ellos: NASA-TLX (Díaz et al., 2010), la escala SWAT (Subjective Workload Assessment Technique) (Reid y Nygren, 1988), la ESCAM (Escala Subjetiva de Carga Mental de Trabajo) (Rolo et al., 2009), o la escala elaborada por Leppink et al. (2014). Escalas que comparten una serie de dimensiones y como señalan (Rolo et al., 2009) al validar la escala ESCAM: los resultados obtenidos concuerdan con aquellos encontrados en otros métodos de evaluación de la carga mental, como el NASA-TLX y el SWAT. La ESCAM comparte con estos métodos las mediciones que se centran en las exigencias temporales y cognitivas. No obstante, mientras que el NASA-TLX y el SWAT examinan algunas ramificaciones específicas de la carga mental (por ejemplo, desempeño, frustración y estrés), la ESCAM incorpora un factor más amplio que considera las implicaciones para la salud, haciendo hincapié en la fatiga mental (percepción de agotamiento y cansancio)” (2009, p. 36). Como señalan Paas et al. (2003): “Las técnicas de escala de calificación se basan en la suposición de que las personas son capaces de introspectar sus procesos cognitivos y de informar la cantidad de esfuerzo mental realizado. Aunque las autoevaluaciones pueden parecer cuestionables, se ha demostrado que las personas son bastante capaces de dar una indicación numérica de su carga mental percibida” (2003, p. 66). Por su parte Korbach et al. (2017), reconociendo las críticas por objetividad, validez y confiabilidad de las escalas subjetivas, señalan que la “ventaja de los métodos subjetivos es que las calificaciones proporcionan información válida sobre la experiencia individual. Además, las escalas de calificación subjetiva son muy fáciles de implementar y pueden usarse en diferentes contextos de aprendizaje con diversos contenidos de aprendizaje y grupos de participantes (Korbach, Brünken y Park, 2017). En esta misma línea Klepsch y Seufert (2020), han realizado un metaanálisis de investigaciones que utilizan los cuestionarios para medir la carga cognitiva, indicando como consecuencia de su estudio su eficacia.

Finalmente señalar, que es una teoría que, además de tener un recorrido histórico significativo, se encuentra en un proceso constante de actualización (Sweller et al., 2019; Sweller, 2023).

3.EL ESTUDIO PROPUESTO

Algunas de las limitaciones para su utilización educativa que se ha indicado respecto a la RE, es el esfuerzo cognitivo que supone para los estudiantes introducirse en contextos inmersivos como los creados por esta tecnología (Makransky et al., 2020; Albus et al., 2021; Bautista et al., 2023), los cuales al estudiante le llevan a una desorientación y desbordamiento cognitivo. Y para su reducción se han adoptado diferentes opciones que han ido desde modificar la opción de interacción (versión escritorio – versiones gafas oculares), modificar la opción del diseño del interfaz, o las incorporación de puntos calientes.

Lo expuesto ha llevado a proponer la investigación que se presenta con la cual se persigue alcanzar los siguientes objetivos:

- Analizar cuánto esfuerzo cognitivo dedican los estudiantes al aprender utilizando materiales educativos diseñados en formato Realidad Extendida (RE).
- Evaluar si hay disparidades en el esfuerzo cognitivo que los estudiantes destinan al aprendizaje al utilizar materiales diseñados en formato Realidad Extendida (RE), ya sea en la modalidad inmersiva o de escritorio.
- Determinar si existe relación entre la carga cognitiva invertida y el rendimiento.

- Y analizar si el tipo de diseño utilizado en la producción de los objetos en formato RE repercute en la inversión de carga cognitiva.

Para lograr los objetivos mencionados, se llevarán a cabo diferentes etapas y se emplearán diversas estrategias para recopilar y analizar datos, abarcando tanto enfoques cuantitativos como cualitativos. A continuación, se presentan las diferentes fases en las que se desarrollará la investigación.

En la primera, se diseñarán y producirán los objetos de aprendizaje en formato RE para ser aplicados en contextos de formación universitaria, que es donde se llevará a cabo la investigación. Para su producción se tendrán en cuenta la experiencia adquirida en diferentes trabajos previos realizados por el equipo de investigación en RA y RV (Cabero-Almenara et al., 2023a; Cabero-Almenara et al., 2023b; Maradei- García et al., 2023).

La selección de los contenidos a producir que pertenecerán a diferentes áreas curriculares: ingeniería, ciencias de la salud, física y química, ciencias de la educación física, bellas artes, arquitectura, ciencias sociales, y educación; aunque su selección definitiva vendrá determinada por la colaboración de profesorado de las áreas citadas. Para su selección, seguiremos diferentes procedimientos: algunos serán seleccionados por docentes que participan en el presente proyecto, y que se impartirán en las asignaturas que desarrollan; y para otros, se contará con la colaboración de docentes que han participado en las diferentes convocatorias de producción de material audiovisual, multimedia y telemático que realizaba anualmente el “Secretariado de Recursos Audiovisuales y Nuevas Tecnologías” (SAV) de la Universidad de Sevilla, y que actualmente desarrolla el “Secretariado de Innovación Educativa”, y con profesorado con el que ya se ha establecido cierta sinergia por el desarrollo de cursos de formación o producción de diferentes recursos multimedia y audiovisuales.

La etapa siguiente implica la creación de los contenidos en formato RE. En colaboración con expertos técnicos, diseñadores gráficos y un equipo de producción audiovisual, se llevará a cabo la creación de los contenidos previamente seleccionados. El proceso de producción de estos materiales seguirá las etapas convencionales que se siguen en el desarrollo de cualquier tecnología, incluyendo diseño, producción, postproducción y evaluación.

Para el diseño educativo de los contenidos, tendremos en cuenta las aportaciones que diferentes autores están realizando apoyándose en la “teoría cognitiva del aprendizaje multimedia (CTML) para la producción de objetos de aprendizaje en formato RV y RE (Alpizar et al., 2020; Mulders et al., 2020) como por ejemplo: tendencia a ser monotemáticos, utilización de “puntos calientes informativos”, utilización de vídeos transparentes, podcast de audio, codificación dual, reducción de la tensión en la inmersión, eliminación de elementos técnicos-estéticos irrelevantes, contigüidad espacial y temporal, ... Investigar sobre los elementos sintácticos y semánticos a incorporar en la producción de los objetos es bastante relevante, ya que diseños no adecuados llevan a la dificultad de integración en la formación, sobrecarga del estudiante o la reducción de la memoria de trabajo (Mulders, 2020). Hay que señalar que, para indagar en las posibilidades de estos elementos, se realizaran dos versiones de los objetos de aprendizaje, donde en uno de ellos se eliminan determinados elementos para comprobar su eficacia en el diseño de los objetos de aprendizaje.

Una vez producido los objetos de aprendizaje se llevará una evaluación por expertos, tanto en la utilización de objetos en formato RE como en los contenidos que al



final se seleccionen, Siguiendo tras su aprobación la fase experimental con los estudiantes.

Para el diagnóstico de la carga cognitiva se utilizará una adaptación de instrumento creado por Leppink et al. (2014), con su lógica adaptación al tipo de recurso movilizándolo en el presente trabajo. Y para el rendimiento académico un instrumento “ad hoc” en función de los contenidos que se hubieran desarrollado.

4.UNAS REFLEXIONES FINALES

La integración de los últimos avances tecnológicos de la RA y la RV en el contexto educativo evidencia una oportunidad para repensar los enfoques tradicionales de enseñanza. Estas tecnologías emergentes han demostrado su capacidad para enriquecer significativamente las experiencias de aprendizaje al permitir una inmersión profunda en entornos virtuales interactivos y envolventes. La posibilidad de crear entornos de aprendizaje más dinámicos y la interacción con objetos y conceptos abstractos en entornos tridimensionales ha modificado la forma en la que los educadores transmiten los conocimientos y en cómo los estudiantes los asimilan. O como indica Reyes-Ruiz (2022), la existencia de un quehacer tecnológico educativo capaz de emplear múltiples entornos de RV para recrear de manera simulada el funcionamiento de conceptos abstractos. Una herramienta que utiliza una variedad de efectos visuales y recursos multimedia para facilitar a los estudiantes la comprensión profunda de los temas estudiados, alentándolos a relacionar esta nueva información con sus conocimientos previos de manera mucho más significativa.

En este contexto, el siguiente trabajo emerge como un esfuerzo crítico para abordar los desafíos y las oportunidades presentes en la integración efectiva de la RE en el contexto educativo. Esta iniciativa subraya la necesidad de profundizar en el análisis de los aspectos pedagógicos fundamentales relacionados con la implementación de la RE, tal y como detallan diferentes estudios en la materia (Figuroa et al., 2021; Marín-Díaz et al., 2022). Es importante tener en cuenta la influencia de estas tecnologías en la motivación de los alumnos, la adquisición de competencias avanzadas, la comprensión de ideas abstractas y la facilidad de empleo, lo que promueve la inclusión debido a la amplia accesibilidad que proporcionan (Ausín-Villaverde et al., 2023).

En respuesta a dichas demandas, uno de los enfoques claves realizados consistió en analizar y comprender cómo diseñar entornos de RE de manera efectiva, con el objetivo de minimizar la carga cognitiva y facilitar la asimilación de conceptos complejos por parte de los estudiantes. Como ha quedado evidenciado, la complejidad cognitiva asociada con la interacción en entornos virtuales es un desafío crucial que requiere una atención especial, y se espera que este proyecto proporcione una base sólida sobre aquellas estrategias que pueden resultar efectivas para abordar los desafíos que estas demandan. Además de la importancia de identificar y evaluar los elementos clave que contribuyen a un entorno de aprendizaje efectivo y significativo en el contexto de la RE.

Otro aspecto crucial ha sido el analizar las diferencias fundamentales que surgen de las diversas formas de visualización e interacción que los estudiantes experimentan al interactuar con objetos y entornos de RE. Comprender las implicaciones de estas diferencias en el proceso de aprendizaje permitirá una adaptación más efectiva de los entornos de RE para satisfacer las necesidades específicas de los estudiantes y optimizar su experiencia educativa en entornos virtuales.



Los desafíos y oportunidades identificadas, en el análisis del estudio, sugieren que el enfoque en la implementación de la RE en las instituciones educativas debe ir más allá de la simple adopción de tecnologías; requiriéndose una comprensión más profunda de los procesos cognitivos y pedagógicos que subyacen a la integración exitosa de la RE en proceso de enseñanza-aprendizaje. Además, la investigación pone de manifiesto la importancia de adoptar metodologías de investigación holísticas y diversas que combinen enfoques cuantitativos y cualitativos para comprender plenamente el impacto de la RE en la experiencia educativa.

En definitiva, una integración efectiva de la RE requerirá una planificación cuidadosa, capacitación adecuada para los educadores y una comprensión clara de cómo adaptar el currículo y las estrategias de enseñanza para aprovechar al máximo el potencial de estas tecnologías emergentes. Se necesita una colaboración estrecha entre educadores, investigadores y desarrolladores tecnológicos para abordar los desafíos y las oportunidades planteados por la introducción de la RE en los entornos educativos, con el objetivo de mejorar continuamente la calidad de la educación y enriquecer la experiencia de aprendizaje de los estudiantes.

El trabajo que se propone se espera que aporte soluciones a una diversidad de problemas que surgen en el uso de la RE, que van desde cómo diseñarlos de una manera eficaz para resolver la carga cognitiva que llegan a suponer para el estudiante, cómo diseñarlos para que sean útiles para su principal finalidad (aprendizaje de los estudiantes), y analizar las diferencias fundamentales que suponen formas diferentes de visionado e interacción del estudiante con el objeto. Se espera que esta investigación contribuya a la formulación de pautas y mejores prácticas para el diseño de entornos virtuales que promuevan una comprensión profunda y ofrezcan calidad al ámbito de lo educativo.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES: Julio Cabero-Almenara (Investigación), Carmen Llorente-Cejudo (Conceptualización y tratamiento de datos) y Lorena Martín-Párraga (Análisis forma)

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. Número de referencia: PID2022-136430OB-I00.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abich IV, J., Parker, J., Murphy, J. S. y Eudy, M. (2021). A review of the evidence for training effectiveness with virtual reality technology. *Virtual Reality*, 25(4), 919-933.
- Albus, P., Vogt, A. y Seufert, T. (2021). Signaling in virtual reality influences learning outcome and cognitive load. *Computers & Education*, 166, 104154.
- Aroca-Reyes, C., y Llorente-Cejudo, C. (2023). Design, construction and validation of a rubric to measure motivation in Early Childhood Education with the use of Augmented Reality. *Innoeduca. International Journal of Technology and Educational Innovation*, 9(1), 143-156.
<https://doi.org/10.24310/innoeduca.2023.v9i1.14237>



- Ausín- Villaverde, V., Rodríguez- Cano, S., Delgado- Benito, V., y Bogdan Toma, R. (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.
- Bautista, L., Maradei, F. y Pedraza, G. (2023). Strategies to reduce visual attention changes while learning and training in extended reality environments. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 17(1), 17-43.
- Brown, M., McCormack, M., Reeves, J., Brook, D. C., Grajek, S., Alexander, B., Weber, N., Bali, M., Bulger, S., Dark, S., Engelbert, N., Gannon, K., Gauthier, A., Gibson, D., Gibson, R., Lundin, B., Veletsianos, G. y Weber, N. (2020). 2020 educause horizon report teaching and learning edition (pp. 2-58). Educause.
- Cabero- Almenara, J., Valencia-Ortiz, R. y Llorente-Cejudo, 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 Llorente- Cejudo, C. (2023). Tecnologías y metodologías emergentes. En C.LL. Cejudo y J.G. Castillo (Eds.), *Tecnologías emergentes y pedagogía de la innovación* (pp. 11-24). Dykinson.
- Cabero-Almenara, J., Llorente-Cejudo, C., Palacios-Rodríguez, A. y Gallego-Pérez, Ó. (2023a). Degree of Acceptance of Virtual Reality by Health Sciences Students. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 20, 5571.
- Cabero-Almenara, J., De-La-Portilla-De-Juan, F., Barroso-Osuna, J. y Palacios-Rodríguez, A. (2023b). Technology-Enhanced Learning in Health Sciences: Improving the Motivation and Performance of Medical Students with Immersive Reality. *Applied Sciences*, 13(14), 8420.
- Campos- Soto, M., Navas-Parejo, M. y Moreno- Guerrero, A. (2020). Realidad virtual y motivación en el contexto educativo: Estudio bibliométrico de los últimos veinte años de Scopus. *Alteridad. Revista de educación*, 15(1), 47-60.
- 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.
- Chandler, P. A., Ayres, P. L. y Kirschner, P. (2011). *Contemporary cognitive load theory research: the good, the bad and the ugly*.
- Chang, Y. S., Chou, C. H., Chuang, M. J., Li, W. H. y Tsai, I. F. (2023). Effects of virtual reality on creative design performance and creative experiential learning. *Interactive Learning Environments*, 31(2), 1142-1157.
- Di Natale, A. F., Repetto, C., Riva, G. y Villani, D. (2020). Immersive virtual reality in K-12 and higher education: A 10-year systematic review of empirical research. *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 2006-2033.
- 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.
- Figueroa, J., Huffman, L., y Rosa Dávila, E. (2021). Fusionando la realidad aumentada en la educación bilingüe y ESL: Percepciones de futuros maestros. *Innoeduca*.

- International Journal of Technology and Educational Innovation*, 7(1), 51–60.
<https://doi.org/10.24310/innoeduca.2021.v7i1.9823>
- Fromm, J., Radianti, J., Wehking, C., Stieglitz, S., Majchrzak, T. A. y vom Brocke, J. (2021). More than experience? On the unique opportunities of virtual reality to afford a holistic experiential learning cycle. *The Internet and higher education*, 50, 100804.
- Fussell, S. G. y Truong, D. (2021). Accepting virtual reality for dynamic learning: An extension of the technology acceptance model. *Interactive Learning Environments*, 1-18.
- Howard, M. C., Gutworth, M. B., y Jacobs, R. R. (2021). A meta-analysis of virtual reality training programs. *Computers in Human Behavior*, 121, 106808.
- Kamińska, D., Sapiński, T., Wiak, S., Tikk, T., Haamer, R. E., Avots, E. y Anbarjafari, G. (2019). Virtual reality and its applications in education: Survey. *Information*, 10(10), 318.
- Klepsch, M. y Seufert, T. (2020). Understanding instructional design effects by differentiated measurement of intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Instructional Science*, 48(1), 45-77.
- Kukulska-Hulme, A., Bossu, C., Charitonos, K., Coughlan, T., Ferguson, R., FitzGerald, E. y Whitelock, D. (2022). Innovating pedagogy 2022: exploring new forms of teaching, learning and assessment, to guide educators and policy makers.
- 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.
- Makransky, G., Petersen, G. B. y Klingenberg, S. (2020). Can an immersive virtual reality simulation increase students' interest and career aspirations in science? *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 2079-2097.
- Maradei- García, F. M., Rojas, L. E. B. y Pedraza, G. (2023). Carga cognitiva y esfuerzo mental durante el cambio de contexto en entornos de realidad aumentada con fines de aprendizaje procedimental: Cognitive load and mental effort during context switching in augmented reality environments for procedural learning purposes. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, (68), 305-340.
- Marín-Díaz, V., Sampedro, B. E., y Vega Gea, E. (2022). Promoting learning through use of 360° videos. *Innoeduca. International Journal of Technology and Educational Innovation*, 8(2), 138–151. <https://doi.org/10.24310/innoeduca.2022.v8i2.15120>
- Menjivar, E., Sánchez, E., Ruíz Palmero, J., y Linde, T. (2021). Revisión de la producción científica sobre la realidad virtual entre 2016 y 2020 a través de Scopus y WoS. *EDMETIC*, 10(2), 26–55.
- 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.
- 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.
- Park, S. M. y Kim, Y. G. (2022). A metaverse: Taxonomy, components, applications, and open challenges. *IEEE access*, 10, 4209-4251.
- Pernett- Cárdenas, M. (2018). Carga cognitiva en la lectura de hipertexto. *Zona Próxima*, (28), 42-56.



- Radianti, J., Majchrzak, T. A., 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 & Education*, 147, 103778.
- Rauschnabel, P. (2022). What is Augmented Reality Marketing? Its definition, complexity, and future. *Journal of Business Research*, 142.
- Reid, GB. y Nygren, TE. (1988). The subjective workload assessment technique: a scaling procedure for measuring mental workload. En: Hancock PA, Meshkati N, editores, Human mental workload. *Amsterdam: Elsevier*, 185-218.
- Reyes-Ruiz, G. (2022). La realidad aumentada como una tecnología innovadora y eficiente para el aprendizaje de idiomas en un modelo pedagógico Flipped Learning. *Pixel-Bit: Revista de Medios y Educación*, 65, 7-36.
- Rolo- González, G., Díaz- Cabrera, D. y Hernández Fernaud, 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.
- Sepp, S., Howard, S. J., Tindall-Ford, S., Agostinho, S. y Paas, F. (2019). Cognitive load theory and human movement: Towards an integrated model of working memory. *Educational Psychology Review*, 31, 293-317.
- Singh, G., Mantri, A., Sharma, O. y Kaur, R. (2021). Virtual reality learning environment for enhancing electronics engineering laboratory experience. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 229-243.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. y Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational psychology review*, 31, 261-292
- Tang, Y. M., Au, K. M., Lau, H. C., Ho, G. T., y Wu, C. H. (2020). Evaluating the effectiveness of learning design with mixed reality (MR) in higher education. *Virtual Reality*, 24(4), 797-807.
- Toala- Palma, J., Mera, J., Loor, J. y Vergara, M. I. S. (2020). La Realidad Virtual como herramienta de innovación educativa. *EPISTEME KOINONIA: Revista Electrónica de Ciencias de la Educación, Humanidades, Artes y Bellas Artes*, 3(5), 270-286.
- Valdés, J. C., y Rueda, C. (2023). El trabajo colaborativo en los EDIT, explorando el aprendizaje inmersivo en el metaverso. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 23(73).
- Vásquez- Carbonell, M., y Silva-Ortega, J. I. (2020). Tendencias y características de la realidad virtual: Una revisión de la literatura entre los años 2017 y 2018. *Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications*, 1(1), 36-70.
- Vergara, D., Antón-Sancho, Á., Extremera, J. y Fernández-Arias, P. (2021). Assessment of virtual reality as a didactic resource in higher education. *Sustainability*, 13(22), 12730.
- Wang, Y. Y. y Chuang, Y. W. (2023). Investigating the potential adverse effects of virtual reality-based learning system usage: from UTAUT2 and PPVITU perspectives. *Interactive Learning Environments*, 1-20.
- Yu, Z. (2021). A meta-analysis of the effect of virtual reality technology use in education. *Interactive Learning Environments*, 1-21.