

# Educación Médica y Carga Cognitiva: Estudio de la Interacción con Objetos de Aprendizaje en Realidad Virtual y Vídeo 360°

## Medical Education and Cognitive Load: Study of the Interaction with Learning Objects in Virtual Reality and 360° Video

Antonio Palacios-Rodríguez  
Universidad de Sevilla. Sevilla, España  
aprodriguez@us.es

Julio Cabero-Almenara  
Universidad de Sevilla. Sevilla, España  
cabero@us.es

Manuel Serrano-Hidalgo  
Universidad de Sevilla. Sevilla, España  
masehi@us.es

### Resumen

Numerosos estudios han demostrado que la realidad virtual (RV) es una tecnología educativa con un gran potencial para el desarrollo de competencias. Su integración requiere la movilización de recursos cognitivos por parte del alumnado, por lo que el diseño de las acciones formativas con RV deben ser óptimas. En este sentido, los objetivos de este estudio es conocer la carga cognitiva que produce la interacción con objetos de aprendizaje producidos en la modalidad RV y con objetos en 360°, así como analizar la evaluación de la misma por parte del alumnado y sus relaciones. Para ello, 136 médicos en formación respondieron dos cuestionarios: carga cognitiva y evaluación de la calidad de la acción formativa. Los resultados mostraron altos niveles de carga cognitiva pertinente y bajos de esfuerzo mentar, carga cognitiva interna y extrínseca. Además, la autopercepción de la calidad de la acción formativa es alta, con niveles de correlación entre las distintas dimensiones. Por ello, concluye demostrando el potencial de la RV como tecnología educativa y abre nuevas vías para la investigación relacionada.

**Palabras clave:** carga cognitiva; realidad virtual; tecnologías emergentes; formación médica; tecnología educativa

### Abstract

Different studies have shown that virtual reality (VR) is an educational technology with great potential for the development of skills. Its integration requires the mobilization of cognitive resources by the students, so the design of the training actions with VR must be optimal. In this sense, the objectives of this study is to know the cognitive load produced by the interaction with learning objects produced in the VR modality and with objects in 360°, as well as to analyze the evaluation of the

same by the students and their relationships. To do this, 136 medical students answered two questionnaires: cognitive load and evaluation of the quality of the training action. The results showed high levels of relevant cognitive load and low levels of mental effort, internal and extrinsic cognitive load. In addition, the self-perception of the quality of the training action is high, with levels of correlation between the different dimensions. Therefore, it concludes by demonstrating the potential of VR as an educational technology and opens new avenues for related research.

**Keywords:** cognitive load; virtual reality; Emerging technologies; medical training; Educative technology

## 1. La realidad virtual en el contexto de formación

La Realidad Virtual (RV) es una de las tecnologías que en los últimos tiempos está despertando mayor interés para ser incorporada a la enseñanza, sobre todo en la superior o universitaria. Respecto a su conceptualización Cabero et al. (2022a, p.12) señalan relacionándola con otras tecnologías similares que “una clara diferencia entre la realidad aumentada y virtual, 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. De todas formas, no olvidemos que ambas «realidades» comparten algunas características comunes, como ya se ha señalado: la inmersión, la navegación y la interacción.” Siendo la Realidad Mixta una combinación de ambos formatos tecnológicos.

Por su parte Navarro et al. (2019, p.37), la definen 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.”

No se debe olvidar que dentro de la RV nos encontramos con la inmersiva y no inmersiva, que como señalan Caballero et al. (2020) poseen una serie de características específicas, así la primera presenta las siguientes: alto coste, su uso es complejo, tiende a provocar la desorientación en la persona, ofrece una gran sensación de realidad, y brinda una sensación de inmersión total; mientras que la segunda presenta un coste más accesible, es más fácil de utilizar, ofrece una rápida aceptación, expresa una menor sensación de realidad y la inmersión que se consigue con ella parcial. Inmersión que, como señalan Valdés y Rueda (2023, p. 3), “... es una forma de estar, un estado de encontrarse “formando parte de”, no solo la idea de “estar en”, como posarse sobre la superficie; si no, el formar parte de esa superficie”.

Ahora bien, tenemos que ser consciente que frente al interés que está despertando la RV, la realidad es que existen pocas investigaciones. Esta falta de estudios e

investigaciones Ortega-Rodríguez (2022) la achacan a tres motivos fundamentales: 1) el acceso a estas tecnologías mediante los smartphones, cuyo uso no ha llegado a consolidarse en el proceso de enseñanza-aprendizaje, 2) la falta de contenidos sobre la utilización de estas tecnologías en los centros educativos y 3) la brecha digital en países y escuelas.

Independientemente de lo comentado, y de la falta de estudios, lo que si es cierto es que, en los últimos años, sobre todo a partir de 2020, se ha aumentado su producción científica (Roda-Segarra et al., 2020). Lo que ha repercutido en un aumento de los metaanálisis sobre sus estudios e investigaciones, metaanálisis que suelen ofrecer resultados positivos y de mejora del rendimiento académico cuando son utilizados en contextos formativos (Di Natale et al., 2020; Tang et al., 2020; Howard et al., 2021; Yu, 2021; Roda-Segarra et al., 2022).

Numerosos han sido los estudios que han informado de un efecto positivo de la RV en el aprendizaje de forma general (Calderón et al., 2020; Tang et al., 2020; Toala-Palma et al., 2020); o de manera específica en la mejora del sentido de presencia física del estudiante en el contexto de formación, mejorar la experiencia de aprendizaje de los estudiantes, o el fortalecer la confianza e interés de los estudiantes por la acción formativa), el aumento de la satisfacción de los estudiantes por participar en experiencias formativas bajo esta modalidad (Ogbuanya y Onele, 2018; Chang et al., 2019; King et al., 2020; McGovern et al., 2020; Llorente-Cejudo et al., 2023), la adquisición de habilidades específicas como la espacial (Yarin y Gamarra, 2023), o el tratamiento de la dislexia (Ausín Villaverde et al., 2023).

También nos encontramos con un gran volumen de investigaciones que señalan la significación de su utilización para potenciar el aprendizaje experiencial, es decir aquel que persigue que los estudiantes aprendan por medio de la reflexión sobre las actividades realizadas (Morris, 2018; Abdulrahman y Al Osman, 2019; Chang et al., 2020; Fromm, et al., 2021). Por tanto, favorece el superar la diferencia entre la teoría y la práctica (Brown, et al., 2002), potenciando la creación de escenarios formativos más activos y participativos por parte de los estudiantes (Yu, 2021). O para la adquisición de la competencia de la gestión del clima del aula (Álvarez et. al., 2023; Cabero-Almenara et al., 2022b).

De manera más específica y relacionado con una de las variables contempladas en el presente estudio como es la motivación, se debe señalar que diferentes investigaciones han puesto de manifiesto que su utilización mejora la motivación hacia los contenidos y actividades que deben realizar los estudiantes (Yang et al., 2018; Bourgeois-Bougrine et al., 2020; McGovern et al., 2020; Winkelmann et al., 2020; Fromm et al., 2021).

El aumento que está teniendo últimamente esta tecnología en las instituciones educativas, se debe entre otros motivos por la potencia que están adquiriendo los ordenadores para presentar con calidad la información audiovisual y multimedia que se presenta a través de estos recursos y por el abaratamiento de los recursos de observación, por ejemplo, de gafas. De todas formas, no se debe olvidar que el costo, su novedad y complejidad son limitaciones que se presentan para su utilización.

Finalmente hay que señalar que ha sido en el campo de Ciencias de la Salud donde esta tecnología está siendo más utilizada. Poniendo de manifiesto las investigaciones realizadas su eficacia para presentar mediante simulaciones diferentes procesos y contextos, y facilitar el acercamiento a la realidad al estudiante (Alfalah et al., 2019;

Calderón et al., 2020; Kukulska-Hulme et al., 2021; Vergara et al., 2021, Volodymyrovych et al., 2021).

## **2. La carga cognitiva y las TIC significación para el aprendizaje**

Una de las variables que últimamente se está poniendo en relación con el diseño y la utilización de diferentes tecnologías digitales es la “carga cognitiva” que al sujeto le supone invertir cuando interacciona teorías que se presentan como un marco conceptual perteneciente a las ciencias cognitivas que pretenden mejorar los ambientes tecnológicos independientemente del formato utilizado, para hacerlos más eficaces de cara a la enseñanza.

Diferentes han sido las definiciones que se han ofrecido de este constructo, así una de las primeras con que nos encontramos es la que refiere a ella como la cantidad de recursos mentales que un sujeto pone en acción cuando se realiza una tarea en un entorno específico (Hart y Staveland, 1988). De forma más específica Paas et al. (2003, p.63) aluden a ella como “la carga que el desempeño de una tarea particular impone sobre el sistema cognitivo del aprendiz.” Aludiendo los mismos autores que es un factor crucial en el aprendizaje de tareas cognitivas complejas, pues como señala el Centre for Education Statistics and Evaluation (2017, p.2): “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.” Y como señaló en su momento uno de los autores claves en el desarrollo de esta teoría “se pueden distinguir dos componentes, la carga mental y el esfuerzo mental. La carga mental la imponen los parámetros de instrucción (por ejemplo, la estructura de la tarea, la secuencia de información) y el esfuerzo mental se refiere a la cantidad de capacidad que se asigna a las demandas de instrucción. Las manipulaciones para aumentar la carga mental mediante cambios en la instrucción solo serán efectivas si los sujetos están motivados y realmente invierten un esfuerzo mental en ellas.” (Paas, 1982, p.429).

En definitiva, lo que viene a apuntar la teoría de la carga cognitiva es que toda tarea a realizar por el sujeto requiere la movilización de recursos cognitivos por parte de la persona, y esta inversión debe ser minimizada, por parte del docente mediante la utilización de recursos adecuados y un diseño efectivo para favorecer el procesamiento de la información sin un gran esfuerzo mental para el estudiante, y ello tiene que ver con la relación que se establece entre las características de la tarea y las características cognitivas del estudiante (Cárdenas, 2018). Como señalan Lin y Kao (2018) la carga cognitiva se ve afectada por factores causales como son las habilidades cognitivas de los alumnos, la complejidad de las tareas de aprendizaje y los contextos de aprendizaje.

Se suele admitir (Sweller, 2010; Sweller et al., 1998; Van Merriënboer et al., 2006; Leppink et al., 2013; Centre for Education Statistics and Evaluation, 2017; Cárdenas, 2018; Feldon et al., 2019; Castro-Meneses et al., 2020) que existen tres tipos de carga cognitiva: intrínseca, extrínseca (o externa) y pertinente.

La carga cognitiva intrínseca se relaciona directamente con la dificultad que presenta aquello que se desea aprender, y suele estar determinada por dos variables: la complejidad del contenido a aprender o tarea a realizar y por el conocimiento previo que tenga el estudiante de ello, por tanto, la formación previa del estudiante podrá determinar

la facilidad o dificultad de la actividad a realizar (Centre for Education Statistics and Evaluation, 2017; Feldon et al., 2019).

Por su parte, la carga cognitiva extrínseca se relaciona con cómo el contenido se enseña o se le presenta a los estudiantes. Como señalaron Van Merriënboer y Sweller (2005, p.105): “es una carga que no necesariamente produce aprendizaje y que puede ser alterada por intervenciones basadas en la instrucción”; por tanto, se puede señalar que el diseño de la instrucción o de los objetos de serán más efectivos para el aprendizaje de los estudiantes, cuando de minimicen la carga extrínseca que le supondrá para el estudiante.

Como señala Cárdenas (2018), la carga cognitiva intrínseca puede modificarse por medio de técnicas y estrategias instruccionales, como, por ejemplo: utilizar el enfoque “de lo simple a lo complejo”, ir de “la parte y el todo”, o el introducir todo el material en toda su complejidad desde el principio para que posteriormente los estudiantes sitúen su atención en la relación de cada uno de sus elementos

Por su parte la carga cognitiva pertinente se refiere a la carga impuesta a la memoria de trabajo por el propio proceso de aprendizaje, es decir, sería el proceso de transferir información a la memoria a largo plazo a través de la construcción de esquemas beneficiados por procesos de abstracción y elaboración. Y es precisamente en ella donde el docente puede incidir mediante su diseño, en cierta medida se puede señalar que la carga cognitiva pertinente puede ser entendida como un tipo de carga “buena” para favorecer el aprendizaje.

Cuando hablamos del “esfuerzo mental invertido” en la ejecución de la tarea, Paas et al., (2003, p.64) apuntan que es “el aspecto de carga cognitiva que se refiere a la capacidad cognitiva que realmente se asigna para acomodar las demandas impuestas por la tarea; por lo tanto, se puede considerar que refleja la carga cognitiva real”.

Como señala Cárdenas (2018), desde la perspectiva teórica se cree que lo que se enseña tiene su máxima eficacia cuando se reduce la carga extrínseca (la cual no es relevante para aprender) y se incrementa la carga pertinente (que sí es relevante para el aprendizaje). Pues como señalan Sweller et al. (1998), una combinación de cargas intrínseca y extrínseca altas puede resultar fatal para el aprendizaje porque la memoria de trabajo estaría significativamente desbordada.

Por lo que se refiere a la forma de diagnosticar y medir la carga cognitiva se suelen diferenciar básicamente dos tipos de métodos: objetivos y subjetivos. Los objetivos incluyen el análisis del rendimiento de la tarea secundaria y los datos conductuales, como la dilatación de la pupila, electroencefalograma, así como el análisis de la actividad cognitiva indicada por los datos de seguimiento ocular (eye-tracking). Y los subjetivos suelen las clasificaciones de la dificultad percibida de la tarea, compromiso o esfuerzo, que son completados por los participantes de la investigación (Korbach et al., 2017, 2018; Castro-Meneses et al., 2020; Scheiter et al., 2020).

Desde el punto de vista de la investigación, una línea que se ha desarrollado se refiere a la búsqueda de formas de diseño de las tecnologías para aminorar la carga cognitiva que les supone a los estudiantes la interacción con las mismas. En este sentido, se han desarrollado trabajos respecto a los MOOC y el e-learning (Lin y Kao, 2018), el software informático (Salica, 2019) o los multimedia (Falcade et al., 2020).

Finalmente, se debe contemplar que esta teoría ha recibido una serie de críticas, que se han centrado principalmente en tres aspectos: el problema de definir qué es

exactamente la carga cognitiva, la preocupación sobre el rigor metodológico de las investigaciones y los problemas sobre la generalización externa de los hallazgos.

### **3. La investigación realizada**

#### **3.1. Objetivos de la investigación**

La investigación se llevó a cabo en el curso académico 2022-23. Y con ella se persiguieron diferentes objetivos, de los cuales en el presente artículo señalamos los siguientes:

- 1) Conocer la carga cognitiva que produce en los estudiantes la interacción con objetos de aprendizaje producidos en la modalidad RV y con objetos en 360°.
- 2) Analizar las relaciones que se producen entre los diferentes tipos de carga cognitiva producida en la interacción con objetos en RV y objetos en 360°.
- 3) Analizar la evaluación que realizan los estudiantes de objetos de aprendizaje producidos en formato RV y en videos 360°.
- 4) Analizar la relación entre la evaluación realizada por los estudiantes de los objetos de aprendizaje y la carga cognitiva invertida por los estudiantes.

#### **3.2. Realización de la experiencia**

La experiencia se desarrolló en el área de conocimiento de cirugía dentro del Grado de Medicina, que establece que el estudiante debe realizar prácticas en el área quirúrgica con el fin de familiarizarse no solo con las técnicas y habilidades quirúrgicas sino también aprender a desenvolverse en un ambiente que para quien no está habituado es muy hostil y demandante.

A esto se le añade que los alumnos de tercero, hasta ese momento no han accedido al hospital para realizar prácticas, se enfrentan por primera vez a un rotatorio que puede ser en muchos casos estresante.

Es por ello por lo que resultaría interesante intentar disminuir el stress de esta experiencia mostrando al alumno previamente el escenario en el que se van a desenvolver en las futuras prácticas, con el fin de que se encuentren más seguros y orientados.

Los tres escenarios a los que se va a enfrentar el alumno son: las consultas de cirugía, el área denominada como limpio donde se realiza el lavado de manos previo a la cirugía y por último el interior del quirófano.

Por ello, elaboramos tres objetos de aprendizaje en formato de realidad virtual e incorporando en ellos vídeos en 360°, con el fin de explicarles estas tres áreas a las que se tendrá que enfrentar en las prácticas: cómo comportarse en la consulta con el paciente en la comunicación del diagnóstico (Figura 1), la acción de lavarse las manos antes de la intervención quirúrgica (Figura 2) y cómo y dónde me puedo mover dentro de un quirófano (Figura 3). Hay que indicar que los tres objetos producidos pueden ser catalogados de acuerdo con Caballero, Mejía y Romero (2020), de no inmersivos.

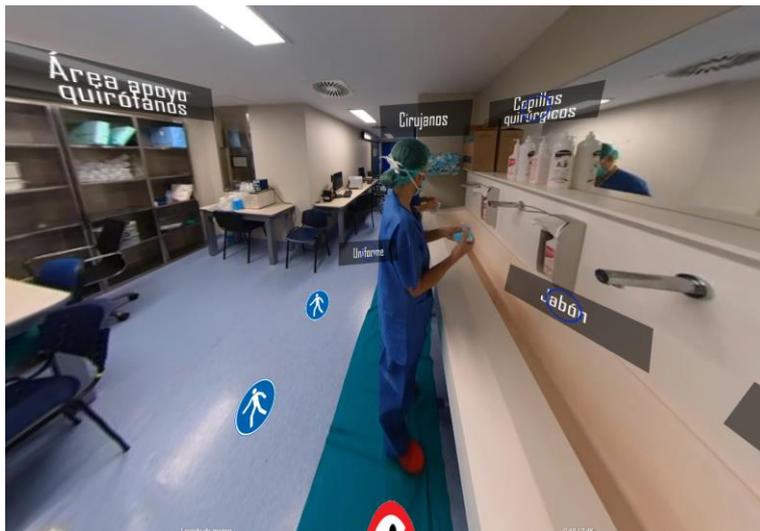
En los siguientes enlaces el lector puede acceder a la observación de los tres objetos de aprendizaje producidos:

- <https://grupotecnologiaeducativa.es/medicina/pretest/consulta/>
- <https://grupotecnologiaeducativa.es/medicina/pretest/lavado/>
- <https://grupotecnologiaeducativa.es/medicina/pretest/quirofano/>

**Figura 1**  
*Objeto de aprendizaje “consulta”*



**Figura 2**  
*Objeto de aprendizaje “lavado de manos”*



**Figura 3**  
*Objeto de aprendizaje “quirófano”*



Todos los objetos comenzaban con un cartel en el cual se le señalaba al estudiante los dispositivos a través de los cuales podía observar los objetos producidos (Figura 4), y se le ofrecía una breve descripción de la información que se le iba a presentar en el objeto.

**Figura 4**  
*Imagen de presentación*

Inmersión virtual en quirófano de la Unidad de Coloproctología  
Hospital Universitario Virgen del Rocío de Sevilla

Ordenador | Dispositivo móvil | Gafas VR (utilice sus ojos para activar los elementos interactivos)

Modo de visualización

Se trata de una grabación en consultas (área de lavado de manos, quirófano, según corresponda), experimente la experiencia virtual, mueva el cursor, emplee si lo desea una gafa 3D, su PC o un móvil.

Disfrute y aprenda de la experiencia.

Al final se le va a pasar un cuestionario sobre aspectos que ha visto en el vídeo.

**Departamento de Cirugía. Universidad de Sevilla**  
**Grupo de Investigación Didáctica. Universidad de Sevilla**

**Responsable médico**  
Dr. Fernando de la Portilla  
Profesor Titular. Facultad de Medicina.  
Universidad de Sevilla

**Producción y realización**  
Dr. Óscar Gallego Pérez  
Dr. en CC de la Educación. Universidad de Sevilla  
Universidad de Sevilla

**Asesoramiento didáctico**  
Dr. Julio Cabero Almenara  
Catedrático de Tecnología Educativa.  
Universidad de Sevilla

Manuel Serrano Hidalgo  
Máster en Tecnología Educativa y Competencias Dig  
Universidad de Sevilla

Dr. Julio Manuel Barroso Osuna  
Catedrático de Tecnología Educativa.  
Universidad de Sevilla

María Villarreal Palomo  
Facultad de CC. de la Educación.  
Universidad de Sevilla

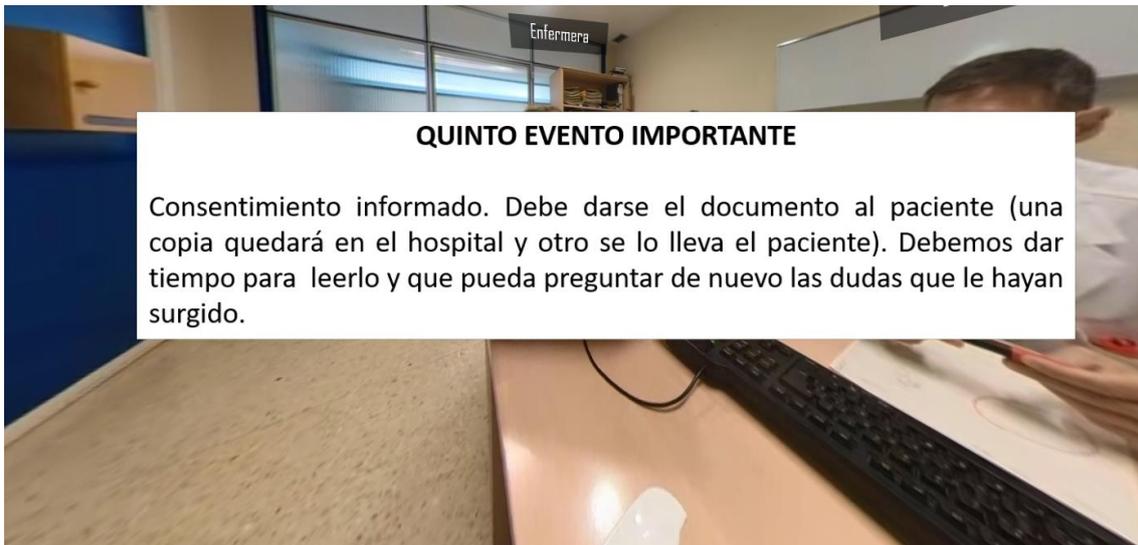
Click para cerrar y pulse play

UNIVERSIDAD DE SEVILLA 1505  
grupo investigación didáctica

Hay que señalar que en los objetos se incorporaban “puntos calientes” que daban información adicional respecto a los aprendizajes que deberían adquirir los estudiantes o las especificaciones de lo que se estaba realizando mediante clip de vídeos o imágenes específicas (Figura 5).

### Figura 5

*Ejemplo de punto caliente y el material al que llevaban*



El número de “puntos calientes” y la tipología de información fue diferente en cada uno de los objetos, en la Tabla 1, se presenta una relación de estos.

**Tabla 1**

*Recursos incorporados en los tres objetos producidos*

	<b>Quirófano</b>	<b>Lavado de manos</b>	<b>Consulta</b>
<b>Puntos calientes informativos</b>	14 (tipología de presentación y descripción)	5 (tipología ampliación de información)	2 (uno de evolución y con cinco carteles informativos de llamadas de atención y uno informativo).
<b>Clip de vídeos</b>	1		
<b>Puntos de zona de ubicación</b>	2	5	2

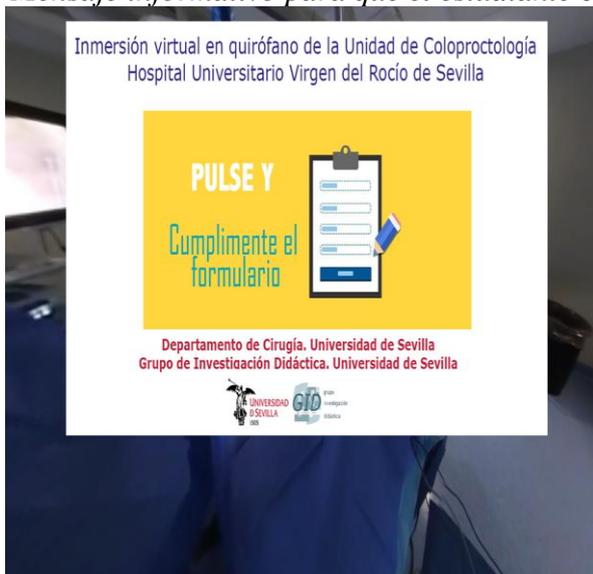
Fuente: Elaboración propia.

Señalar que solo uno de los objetos, consulta, incluía sonidos, que se referían a los comentarios entre el médico y el paciente.

También en los objetos en el proceso de finalización de la interacción le aparecía un cartel informativo para que el estudiante cumplimentara un cuestionario que nos permitía saber si habían aprendido la información que se le había ofrecido en los diferentes objetos producidos (Figura 6).

## Figura 6

*Mensaje informativo para que el estudiante cumplimentara el cuestionario*



La realización de los diferentes objetos se llevó a cabo mediante los siguientes recursos y programas: cámara 360 one R, el software de edición que ofrecía la cámara, el software Premiere para la edición de vídeo y el programa KRPANO para la creación de los “puntos calientes”. Finalmente, los programas fueron subidos a un servidor.

A los estudiantes se le facilitaron las URL anteriormente citadas y su observación se llevó a cabo en el contexto del aula, para realizar la interacción con los objetos producidos. Realizando la cumplimentación de los cuestionarios al final de cada interacción, como se señaló anteriormente.

### 3.3. Instrumento de recogida de información.

Para el análisis de la carga cognitiva se utilizó una adaptación a la tecnología empleada en nuestro estudio del elaborado por Leppink et al. (2014). El instrumento que está conformado por 13 ítems con escala de contestación del 0 (no es en absoluto el caso) a 10 (completamente el caso).

El instrumento mide cuatro dimensiones: carga cognitiva externa, carga cognitiva interna, carga cognitiva pertinente y esfuerzo mental, y fue el siguiente:

- [1] Los contenidos del objeto en RV fueron muy complejos.
- [2] Las tareas cubiertas del objeto en RV fueron muy complejas.
- [3] En el objeto en RV se mencionaron términos muy complejos.
- [4] Invertí un gran esfuerzo mental en la complejidad de esta actividad.
- [5] Las explicaciones e instrucciones del objeto en RV fueron muy poco claras.
- [6] Las explicaciones e instrucciones del objeto en RV estaban llenas de términos poco claros.
- [7] Las explicaciones e instrucciones del objeto en RV fueron, en términos de aprendizaje, muy ineficaces.
- [8] Invertí un gran esfuerzo mental en entender las explicaciones e instrucciones poco claras e ineficaces incorporadas en el objeto en RV.
- [9] Esta actividad realmente mejoró mi comprensión del contenido que se desarrolló en el objeto en RV.
- [10] Esta actividad realmente mejoró mi comprensión de los problemas que se desarrollaron en el objeto en RV.

[11] Esta actividad realmente mejoró mi conocimiento de los términos que se mencionaron en el objeto en RV.

[12] Esta actividad realmente mejoró mi conocimiento y comprensión de cómo combatir con los problemas cubiertos en el objeto en RV.

[13] Invertí un gran esfuerzo mental durante esta actividad para mejorar mi conocimiento y comprensión de los contenidos desarrollados en el objeto en RV.

En el instrumento, los ítems 1-2 y 3 miden la carga cognitiva intrínseca, el 5-6 y 7 la carga cognitiva externa, el 9-10-11 y 12 la carga cognitiva pertinente y los ítems 4-8 y 13 el esfuerzo mental invertido.

Al instrumento le aplicamos al alfa de Crombach con el objeto de conocer su fiabilidad, obteniéndose un valor del 0.793 para el total del instrumento, y 0,893 para la carga cognitiva interna, de 0.901 para la externa, del 0.752 para la pertinente y del 0,703 para el esfuerzo mental. Valores que sugiere una alta fiabilidad.

El instrumento se aplicó vía internet tras haber interactuado los estudiantes con los diferentes objetos en realidad aumentada y virtual elaborados.

Por lo que se refiere a la evaluación se utilizó la adaptación de uno utilizado por Barroso y Cabero (2015) para la evaluación de objetos de aprendizaje construidos en formato RA. El instrumento estaba formado por 13 ítems:

1.1. El funcionamiento del recurso en RV que te hemos presentado es:

1.2 En general, la estética del recurso producido en RV lo consideras:

1.3 En general, el funcionamiento técnico del recurso producido en RV lo calificaría de:

1.4. En general, cómo valorarías la presentación de la información en la pantalla:

2.1. Cómo calificarías la facilidad de utilización y manejo del recurso en RV que te hemos presentado:

2.2. Cómo calificarías la facilidad de comprensión del funcionamiento técnico del recurso en RV que te hemos presentado:

2.3. Desde tu punto de vista, cómo valoraría el diseño general del recurso en RV que hemos elaborado:

2.4. Desde tu punto de vista, cómo valoraría la accesibilidad/usabilidad del recurso en RV que te hemos presentado:

2.5. Desde tu punto de vista, cómo valoraría la flexibilidad de utilización del material en RV que te hemos presentado:

2.6. El utilizar el recurso en RV producido te fue divertido:

3.1. En general, cómo calificaría de eficaz y comprensible la información ofrecida para manejar el recurso en RV que te hemos presentado:

3.2. La información ofrecida para manejar el recurso en RV te fue simple y comprensible.

Que recogían información de tres dimensiones: a) aspectos técnicos y estéticos, b) facilidad de navegación y desplazamiento por el entorno y c) guía/tutorial del programa.

La escala utilizada para la contestación fue: MN= Muy negativo / muy en desacuerdo; N= Negativo / En desacuerdo; R-= Regular negativo / Moderadamente en desacuerdo; R+= Regular positivo / Moderadamente de acuerdo; P= Positivo / de acuerdo; y MP= Muy positivo / muy de acuerdo.

### 3.4. La muestra del estudio

La muestra de la investigación estuvo formada por 136 alumnos que cursaban la asignatura “Fundamentos en Cirugía y Anestesiología” impartida en el curso tercero del Grado de Medicina de la Universidad de Sevilla.

Por el procedimiento seguido para seleccionar la muestra del estudio, podemos considerarla del tipo no probabilística, o como también se le denomina de conveniencia o causal (Sampieri, Fernández y Baptista, 2010), que viene determinada por la facilidad de acceso que el investigador tiene a los sujetos que la conforman. Por tanto, no fueron elegidos al azar.

### 4. Resultados

En la Tabla 2 se ofrecen las puntuaciones medias y desviaciones típicas alcanzadas en cada uno de los ítems que conformaban el instrumento de la carga cognitiva.

**Tabla 2**

*Puntuaciones medias alcanzadas en los diferentes ítems (nota: CGI= Carga cognitiva interna, CGE = Carga cognitiva externa, CGP = Carga cognitiva pertinente y EMI = Esfuerzo mental invertido)*

	M	DT
[1] Los contenidos del objeto en RV fueron muy complejo. (CGI)	2,87	2,029
[2] Las tareas cubiertas del objeto en RV fueron muy complejos. (CGI)	3,10	2,109
[3] En el objeto en RV se mencionaron términos muy complejos. (CGI)	2,63	1,717
[4] Invertí un gran esfuerzo mental en la complejidad de esta actividad. (EMI)	3,27	2,346
[5] Las explicaciones e instrucciones del objeto en RV fueron muy poco claras. (CGE)	2,60	1,949
[6] Las explicaciones e instrucciones del objeto en RV estaban llenas de términos poco claros. (CGE)	2,45	1,763
[7] Las explicaciones e instrucciones del objeto en RV fueron, en términos de aprendizaje, muy ineficaces. (CGE)	2,27	1,547
[8] Invertí un gran esfuerzo mental en entender las explicaciones e instrucciones poco claras e ineficaces incorporadas en el objeto en RV. (EMI)	2,85	2,107
[9] Esta actividad realmente mejoró mi comprensión del contenido que se desarrolló en el objeto en RV. (CGP)	7,74	2,101
[10] Esta actividad realmente mejoró mi comprensión de los problemas que se desarrollaron en el objeto en RV. (CGP)	7,78	1,954
[11] Esta actividad realmente mejoró mi conocimiento de los términos que se mencionaron en el objeto en RV. (CGP)	7,85	1,985
[12] Esta actividad realmente mejoró mi conocimiento y comprensión de cómo combatir con los problemas cubiertos en el objeto en RV. (CGP)	7,82	1,898
[13] Invertí un gran esfuerzo mental durante esta actividad para mejorar mi conocimiento y comprensión de los contenidos desarrollados en el objeto en RV. (EMI)	4,65	2,850

---

Carga cognitiva interna	2,87	1,820
Carga cognitiva extrínseca	2,44	1,570
Carga cognitiva pertinente	7,80	1,890
Carga cognitiva esfuerzo mental	3,59	

---

Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse las puntuaciones más elevadas se dieron en la dimensión “carga cognitiva pertinente”: [11] Esta actividad realmente mejoró mi conocimiento de los términos que se mencionaron en el objeto en RV. (7,85), [12] Esta actividad realmente mejoró mi conocimiento y comprensión de cómo combatir con los problemas cubiertos en el objeto en RV. (7,82), [10] Esta actividad realmente mejoró mi comprensión de los problemas que se desarrollaron en el objeto en RV. (7,78) y [9] Esta actividad realmente mejoró mi comprensión del contenido que se desarrolló en el objeto en RV. (7,74). Dándose por el contrario las medias menos elevadas en los ítems referidos a la “carga cognitiva externa”: [5] Las explicaciones e instrucciones del objeto en RV fueron muy poco claras. (2,60), [6] Las explicaciones e instrucciones del objeto en RV estaban llenas de términos poco claros (2,45) y [7] Las explicaciones e instrucciones del objeto en RV fueron, en términos de aprendizaje, muy ineficaces (2,27).

Por lo que se refiere a los diferentes tipos de carga, señalar que los valores más elevados se dieron en la carga cognitiva pertinente (7,80), seguidos del esfuerzo mental (3,59), carga cognitiva interna (2,87) y la carga cognitiva extrínseca (2,44).

En la Tabla 3, se presentan las correlaciones obtenidas entre los diferentes tipos de carga y el esfuerzo mental invertido.

### Tabla 3

*Correlaciones entre las diferentes dimensiones de la carga cognitiva (\*\* = significativo a 0.00)*

---

Variables	Coefficiente de correlación
Carga Cognitiva Interna – Carga Cognitiva Externa	,693(**)
Carga Cognitiva Interna - Carga Cognitiva Pertinente	-,508(**)
Carga Cognitiva Interna – Esfuerzo Mental Invertido	,702(**)
Carga Cognitiva Externa - Carga Cognitiva Pertinente	-,580(**)
Carga Cognitiva Externa - Esfuerzo Mental Invertido	,514(**)
Carga Cognitiva Pertinente - Esfuerzo Mental Invertido	-,0163

---

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados encontrados señalan, salvo en uno de los casos, carga cognitiva pertinente – esfuerzo mental invertido, correlaciones significativas. Y se

Por lo que se refiere a la evaluación que los estudiantes realizaron de los objetos producidos en RV, en la Tabla 4 se presentan las medias y las desviaciones típicas alcanzadas tanto en cada uno de los ítems como en las tres dimensiones que lo conforman.

#### Tabla 4

*Puntuaciones medias y desviaciones típicas alcanzadas con el instrumento de evaluación de los programas*

	M	DT
1.1. El funcionamiento del recurso en RV que te hemos presentado es:	4,78	1,538
1.2 En general, la estética del recurso producido en RV lo consideras:	4,79	1,411
1.3 En general, el funcionamiento técnico del recurso producido en RV lo calificaría de:	4,76	1,453
1.4. En general, cómo valorarías la presentación de la información en la pantalla:	4,72	1,386
2.1. Cómo calificarías la facilidad de utilización y manejo del recurso en RV que te hemos presentado:	4,76	1,447
2.2. Cómo calificarías la facilidad de comprensión del funcionamiento técnico del recurso en RV que te hemos presentado:	4,69	1,406
2.3. Desde tu punto de vista, cómo valoraría el diseño general del recurso en RV que hemos elaborado:	4,81	1,422
2.4. Desde tu punto de vista, cómo valoraría la accesibilidad/usabilidad del recurso en RV que te hemos presentado:	4,88	1,369
2.5. Desde tu punto de vista, cómo valoraría la flexibilidad de utilización de material en RV que te hemos presentado:	4,76	1,473
2.6. El utilizar el recurso en RV producido te fue divertido:	4,85	1,455
3.1. En general, cómo calificaría de eficaz y comprensible la información ofrecida para manejar el recurso en RV que te hemos presentado:	4,75	1,449
3.2. La información ofrecida para manejar el recurso en RV te fue simple y comprensible.	4,76	1,487
EV1 (Aspectos técnicos y estéticos)	4,76	1,370
EV2 (Facilidad de navegación y desplazamiento por el entorno)	4,77	1,322

---

EV3 (Guía/tutorial del programa)	4,76	1,408
Evaluación total	4,76	1,333

---

Fuente: Elaboración propia.

La puntuación media alcanzada en la globalidad del instrumento es de 4.76, lo que supera en algo más de un punto y medio el valor central de la escala ofertada, situándose las tres dimensiones que conformaban el instrumento en una puntuación cercana al total del instrumento. En definitiva, se puede señalar que los tres objetos elaborados para la investigación fueron valorados positivamente por los estudiantes. Oscilando las puntuaciones de los ítems entre un 4,69 (2.2. Cómo calificarías la facilidad de comprensión del funcionamiento técnico del recurso en RV que te hemos presentado) y 4,88 (2.4. Desde tu punto de vista, cómo valoraría la accesibilidad/usabilidad del recurso en RV que te hemos presentado).

Finalmente quisimos comprobar si se dieran relaciones entre las valoraciones realizadas por los estudiantes de los diferentes objetos producidos en formato RV y la carga mental invertida en la interacción que realizaron con los objetos, y para ello aplicamos de nuevo el coeficiente de correlación de Spearman. En la Tabla 5, se presentan las correlaciones encontradas entre ambas variables.

**Tabla 5**

*Correlaciones entre la evaluación de los objetos realizadas por los estudiantes y la carga cognitiva (nota: CGI= Carga cognitiva interna, CGE = Carga cognitiva externa, CGP = Carga cognitiva pertinente y EMI = Esfuerzo mental invertido; \*\*= significativo a ,000)*

---

Dimensión	CGI	CGE	CGP	EMI
Aspectos técnicos y estéticos	-,417**	-,513**	,386**	-,269**
Facilidad de navegación y desplazamiento por el entorno	-,443**	-,543**	,408**	-,286**
Guía/tutorial del programa)	-,506**	-,557**	,391**	-,381**
Puntuación total	-,484**	-,576**	,433**	-,328**

---

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados encontrados nos indican en primer lugar que todas las relaciones se han mostrado significativas. Al mismo tiempo los resultados ponen de manifiesto que cuanto más positivamente son valorados los objetos por parte de los estudiantes la carga cognitiva intrínseca y externa disminuye, ocurriendo lo mismo con el esfuerzo mental demandado al estudiante. En contrapartida las valoraciones positivas hacen aumentar la

carga cognitiva pertinente, que es aquella que debe ser aumentada por el docente para favorecer una adecuada situación instruccional.

## 5. Conclusiones

Los hallazgos de nuestra investigación han puesto de manifiesto una serie de aspectos significativos, para comprender la viabilidad educativa de utilizar en la enseñanza objetos de aprendizaje en formato RV con vídeos 360° y más específicamente su diseño utilizando la combinación de “puntos calientes” bajo diferentes modalidades: informativos, ampliadores de la información y aclarativos; así como la incorporación de clip de vídeos. En definitiva, contemplar lo que uno de los autores clásicos en la construcción de la teoría del aprendizaje multimedia y la carga cognitiva (Mayer, 2003) que el diseño de materiales con diferentes recursos en una adecuada dosis favorecía el traslado de la información de la memoria a corto a largo plazo.

El estudio pone también de manifiesto que la adaptación del instrumento de análisis de la carga cognitiva formulado por Leppink et al. (2014), se ha mostrado fiable para su utilización.

Por lo que se refiere a la influencia de la carga cognitiva y a sus diferentes tipos en la interacción que los estudiantes realizaron con los diferentes objetos, debemos decir que la forma de diseño de los recursos se ha mostrado pertinente y muy válido, pues la de carga de desempeño que les ha requerido a los docentes han sido baja en la carga cognitiva intrínseca y externa y elevada en la carga cognitiva pertinente. Aspecto que se relacionan con lo que diferentes autores (Centre for Education Statistics and Evaluation, 2017; Cárdenas, 2018) que indican que la instrucción, en nuestro caso el diseño de materiales educativos, tienen su máxima eficacia cuando se reduce la carga cognitiva extrínseca y se aumenta la carga cognitiva pertinente. Desde esta perspectiva el estudio aumenta el conocimiento científico que se dispone respecto a esta variable cognitiva.

La experiencia también ha puesto de manifiesto que el esfuerzo mental requerido al sujeto para la realización de la tarea no ha sido muy elevado, situándose en un nivel por debajo de la puntuación media de la escala. Tanto niveles muy superiores de esfuerzo como muy inferiores pueden llevar al sujeto a aburrirse o a abandonar la realización de la tarea

Hemos encontrado fuertes relaciones entre la evaluación que realizaron los estudiantes de los objetos y su relación con los diferentes tipos de carga cognitiva empleadas. Nuestro estudio pone de manifiesto que altas valoraciones de los objetos por parte de los estudiantes correlacionaban positiva y significativamente con la carga

cognitiva pertinente, mientras lo hacían de forma negativa con las cargas cognitivas intrínsecas y externa, así como con el esfuerzo mental invertido.

Si debemos anotar algunas limitaciones de nuestra investigación, que aluden sobre todo al procedimiento de selección de los estudiantes, y al no haber mantenido la constancia de condiciones en las cuales los alumnos interactuaban con los objetos. Al ser una diversidad de grupos resultaba compleja su realización.

Como líneas futuras de investigación se proponen replicar la investigación con otros objetos de otras disciplinas curriculares, y realizarla nuestra investigación efectuándose la experiencia con dos grupos uno control, donde en el material se eliminen los “puntos calientes” y otros con el material aquí utilizado. Al mismo tiempo se podría abrir una línea referida a la capacitación que los docentes tienen respecto a esta tecnología para su incorporación en la enseñanza, pues la formación de los docentes en dispositivos móviles no parece ser que sea muy elevada (Rodríguez-Hoyos et al., 2021; Cabero-Almenara et al., 2023c).

Presentación del artículo: 4 de septiembre de 2023

Fecha de aprobación: 9 de enero de 2024

Fecha de publicación: 30 de junio-2024de 2024

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 360°. <i>RED. Revista de Educación a Distancia</i> , 24(78). <a href="http://dx.doi.org/10.6018/red.582741">http://dx.doi.org/10.6018/red.582741</a>
---

## **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.

## **Declaración de los autores sobre el uso de LLM**

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

## Referencias

- Abdulrahman, E. y Al Osman, H. (2018). A virtual reality role-playing serious game for experiential learning. *Interactive Learning Environments*. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1703008>
- Alfalah, S.F.M., Falah, J.F.M., Alfalah, T., Elfalah, M., Muhaidat, N. y Falash, O. (2019). A comparative study between a virtual reality heart anatomy system and traditional medical teaching modalities. *Virtual Reality* 23, 229–234 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0359-y>
- Álvarez, I.M., Manero, B., Morodo, A., Suñé-Soler, N., y Henao, C. (2023). Realidad Virtual Inmersiva para mejorar la competencia de gestión del clima del aula en secundaria. *Educación XXI*, 26(1), 249-272. <https://doi.org/10.5944/educxx1.33418>
- 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: [Evaluation of an augmented reality APP for children with dyslexia: a pilot study]. *Pixel-Bit. Revista De Medios Y Educación*, (66), 87–111. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.9563>
- Barroso, J. y Cabero, J. (2016). Evaluación de objetos de aprendizaje en realidad aumentada: estudio piloto en el grado de Medicina. *Enseñanza & Teaching*, 34(2), 149-167.
- Caballero, M.P., Mejía, C. y Romero, J. (2020). Realidad aumentada vs. realidad virtual: Una revisión conceptual. *Teknos. Revista Científica*, 19(2), 10-19. <http://dx.doi.org/10.25044/25392190.991>
- Cabero, J., Valencia, R. y Llorente, C. (2022a). 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., Guillén-Gámez, F. D., Ruiz-Palmero, J., y Palacios-Rodríguez, A. (2022b). Teachers' digital competence to assist students with functional diversity: Identification of factors through logistic regression methods. *British Journal of Educational Technology*, 53(1), 41-57. <https://doi.org/10.1111/bjet.13151>
- Cabero-Almenara, J., Gutiérrez-Castillo, J. J., Palacios-Rodríguez, A., y Guillén-Gámez, F. D. (2022c). Digital Competence of university students with disabilities and factors that determine it. A descriptive, inferential and multivariate study. *Education and Information Technologies*, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11297-w>

- Calderón, S. J., Tumino, M. C. y Bournissen, J. M. (2020). Realidad virtual: impacto en el aprendizaje percibido de estudiantes de Ciencias de la Salud. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 16, 65-82. <https://doi.org/10.51302/tce.2020.441>
- Cárdenas, M. (2018). Carga cognitiva en la lectura de hipertexto. *Zona Proxima*, 28, 42-56.
- Centre for Education Statistics and Evaluation (2017). *Cognitive load theory: Research that teachers really need to understand*. Centre for Education Statistics and Evaluation.
- Chang, Y., Chou, Ch., Chuang, M., Li, W. y Tsai, I. (2020). *Effects of virtual reality on creative design performance and creative experiential learning*. Interactive Learning Environments. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1821717>
- Di Natale, A., 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. <https://doi.org/10.1111/bjet.13030>
- Falcade, A., Abegg, I. y Falcade, L. (2020). Teoria da carga cognitiva: aproximação de ideias e conceitos. *Interaçao*, 45, 3, 795-810. <https://doi.org/10.5216/ia.v45i3.64208>
- Feldon, D.F., Callan, G., Juth, S. y Jeong, S. (2019). Cognitive Load as Motivational Cost. *Educational Psychology Review*, 31, 319–337. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09464-6>
- Fromm, J., Radianti, J., Wehking, Ch., Stieglitz, S., Majchrzak, T. 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, 1-14, <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2021.100804>
- Hart, S. G., y Staveland, L. E. (1988). *Development of NASA-TLX (task load Index): Results of empirical and theoretical research*. Elsevier Science Publishers.
- King, S. A., Dzenga, C., Burch, T., y Kennedy, K. (2020). Teaching partial–interval recording of problem behavior with virtual reality. *Journal of Behavioral Education*, <https://doi.org/10.1007/s10864-019-09363-4>
- Korbach, A., Brünken, R. y Park, B. (2017). Measurement of cognitive load in multimedia learning: a comparison of different objective measures. *Instructional Science*, 45, 515-536. <https://doi.org/10.1007/s11251-017-9413-5>
- Kukulska-Hulme, A., Bossu, C., Charitonos, K., Coughlan, T., Maina, M., Ferguson, R., FitzGerald, E., Gaved, M., Guitert, M., Herodotou, C., Prieto-Blázquez, J., Rienties,

- B., Sangrà, A., Sargent, J., Scanlon, E., y Whitelock, D. (2022). *Innovating Pedagogy 2022: Open University Innovation Report 10*. 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>.
- Lin, F. y Kao, M. (2018). Mental effort detection using EEG data in E-learning contexts. *Computers & Education*, 122, 63-79. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.03.020>.
- Llorente-Cejudo, C., Palacios-Rodríguez, A., y Fernández-Scagliusi, V. Learning Landscapes and Educational Breakout for the Development of Digital Skills of Teachers in Training. *Interaction Design & Architecture(s) Journal*, 53, 176-190. <https://doi.org/10.55612/s-5002-053-009>
- Mayer, R.E. (2003). *Multimedia learning*. EE.UU. Cambridge University press.
- McGovern, E., Moreira, G., y Luna-Nevarez, C. (2020). An application of virtual reality in education: Can this technology enhance the quality of students' learning experience? *Journal of Education for Business*, 95(7), 490-496. <https://doi.org/10.1080/08832323.2019.1703096>
- Morris, Th. (2018). Experiential learning – a systematic review and revision of Kolb's model. *Interactive Learning Environments*, 28(8). <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1570279>
- Navarro, F., Martínez, A. y Martínez, J.M. (2019). *Realidad virtual y realidad aumentada*. Ediciones de la U.
- Ogbuanya, Th. y Ogbonna, N. (2018). Investigating the Effectiveness of Desktop Virtual Reality for Teaching and Learning of Electrical/Electronics Technology in Universities. *Computers in the Schools*, 35(3), 226-248. <https://doi.org/10.1080/07380569.2018.1492283>
- Ortega-Rodríguez, P. J. (2022). De la realidad extendida al metaverso: una reflexión crítica sobre las aportaciones a la educación. Teoría de la Educación. *Revista Interuniversitaria*, 34(2), 189-208. <https://doi.org/10.14201/teri.27864>
- Paas, F, Tuovinen, J. E., Tabbers, H. y Van Gerven, P. (2003). Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory. *Educational Psychologist*, 38(1), 63-71.

- Paas, F. (1992). Training Strategies for Attaining Transfer of Problem-Solving Skill in Statistics: A Cognitive-Load Approach. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 429-434.
- Roda-Segarra, J., Mengual-Andrés, S. y Martínez-Roig, R. (2022). Using Virtual Reality in Education: a bibliometric analysis. *Campus Virtuales*, 11(1), 153-165. <https://doi.org/10.54988/cv.2022.1.1006>
- Rodríguez-Hoyos, C., Fueyo Gutiérrez, A., y Hevia Artime, I. (2021). Competencias digitales del profesorado para innovar en la docencia universitaria. Analizando el uso de los dispositivos móviles. *Pixel-Bit. Revista De Medios y Educación*, 61, 71-97. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.86305>
- Salica, M. A. (2019). Carga cognitiva y aprendizaje con TIC: estudio empírico en estudiantes de química y física de secundaria. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, (24), 67-78. <http://dx.doi.org/10.24215/18509959.24.e08>
- Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2010). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill.
- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123-138.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. y Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- Tang, Y., Au, K., Lau, H., Ho, G. y Wu, C. (2020). Evaluating the effectiveness of learning design with mixed reality (MR) in higher education. *Virtual Reality*, 24, 797–807, <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00427-9>.
- Toala-Palma, J., Arteaga-Mera, J., Quintana-Loor, J y Santana-Vergara, M. (2020). La Realidad Virtual como herramienta de innovación educativa. *Episteme Koinonia. Revista Electrónica de Ciencias de la Educación, Humanidades, Artes y Bellas Artes*, 8(5), 270-286. <http://dx.doi.org/10.35381/e.k.v3i5.835>
- Tsekhmister, Y. V., Konovalova, T., Tsekhmister, B. Y., Agrawal, A., y Ghosh, D. (2021). Evaluation of Virtual Reality Technology and Online Teaching System for Medical Students in Ukraine During COVID-19 Pandemic. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 16(23),127–139. <https://doi.org/10.3991/ijet.v16i23.26099>

- Valdés, J. C., y Rueda, C. J. (2023). El trabajo colaborativo en los EDIT, explorando el aprendizaje inmersivo en el metaverso. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 23(73). <http://dx.doi.org/10.6018/red.539671>
- Van Merriënboer, J., Kester, L., y Paas, F. (2006). Teaching complex rather than simple tasks: Balancing intrinsic and germane load to enhance transfer of learning. *Applied Cognitive Psychology*, 20(3), 343-352.
- 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, 1-22, 12730. <https://doi.org/10.3390/su132212730>
- Yarin, Y.H. y Gamarra, H.E. (2023). La realidad virtual y su efecto en la habilidad espacial: un caso de estudio enfocado en la enseñanza de la geometría descriptiva. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 23(73). <http://dx.doi.org/10.6018/red.540091>
- Yu, Z. (2021). A meta-analysis of the effect of virtual reality technology use in education. *Interactive Learning Environments*, 1-21. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1989466>