

Análisis de la carga de trabajo mental producida por experiencias utilizando la Realidad Aumentada y Realidad Virtual en estudiantes de Educación Básica Regular

Analysis of the mental workload produced by experiences using Augmented Reality and Virtual Reality in regular elementary school students

Selene Belén Torres-Gonzales¹, Santos Toribio Tingo-Túpac², Benjamín Maraza-Quispe³
^{1,2,3} Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú

Resumen

La investigación tiene como objetivo analizar la carga de trabajo mental producida por experiencias de aprendizaje a través de la realidad aumentada (RA) y realidad virtual (RV). La metodología utilizada para el desarrollo de la investigación presenta un enfoque cualitativo de tipo cuasi experimental, la población seleccionada estuvo conformada por 100 estudiantes de quinto grado de secundaria de Educación Básica Regular, de los cuales se seleccionaron a través de un muestreo aleatorio simple 2 grupos de estudiantes de 50 integrantes cada uno para los grupos de control y experimental. Se desarrollan 7 sesiones de aprendizaje en tópicos del área de Ciencias Sociales. Con el grupo experimental se utilizaron experiencias de aprendizaje que involucran la RA y RV y con el grupo de control se desarrollaron las sesiones de forma tradicional. Los estudiantes del grupo experimental enfrentaron unas tareas relacionadas con aprendizajes que incluía navegación, movimiento, interacción manual, procesamiento de información, búsqueda de información, almacenamiento y toma de decisiones. Para realizar el análisis se utilizó el instrumento estandarizado de la NASA-TLX (Task Load Index) el cual incluye 6 dimensiones: Frustración, rendimiento, esfuerzo, demanda física, mental y temporal. Los resultados demuestran que la experimentación con la RA presenta una carga de trabajo mental moderada, mientras que la experimentación con la RV presenta una carga de trabajo significativa, esto en comparación con los estudiantes que no participaron de las experiencias con RA y RV quienes no presentaron mayor carga de trabajo mental en el desarrollo de sus actividades. En conclusión, el uso de la realidad virtual en entornos de aprendizaje inmersivos produce una carga de trabajo mental positiva; mientras que el uso de la realidad aumentada no implica mayor demanda de trabajo mental en entornos de aprendizaje inmersivos.

Palabras clave: Realidad Virtual, Realidad Aumentada, carga de trabajo mental, NASA – TLX, aprendizaje.

Abstract

The research aims to analyze the mental workload generated by learning experiences through augmented reality (AR) and virtual reality (VR). The methodology used for the research development follows a qualitative quasi-experimental approach, with a selected population of 100 fifth-grade students from Regular Basic Education, from whom 2 groups of 50 participants each were randomly chosen for the control and experimental groups. Seven learning sessions were conducted in the Social Sciences field. The experimental group engaged in learning experiences involving AR and VR, while the control group had sessions conducted in a traditional manner. The tasks assigned to the experimental group included navigation, movement, manual interaction, information processing, information retrieval, storage, and decision-making. The standardized NASA-TLX (Task Load Index) instrument, encompassing six dimensions—frustration, performance, effort, physical demand, mental demand, and temporal demand—was employed for the analysis. The results demonstrate that experimenting with AR presents a moderate mental workload, whereas experimenting with VR imposes a significant mental workload, compared to students who did not participate in AR and VR experiences, showing no notable increase in mental workload during their activities. In conclusion, the use of virtual reality in immersive learning environments results in a positive mental workload, while the use of augmented reality does not imply a greater demand for mental work in immersive learning environments.

Keywords: Virtual Reality, Augmented Reality, Mental Workload, NASA – TLX, Learning.

Introducción

Actualmente en los procesos de enseñanza-aprendizaje es fundamental poder determinar la carga de trabajo mental producidas a través de experiencias educativas utilizando la realidad aumentada (RA) y realidad virtual (RV) debido a diversas razones. En primer lugar, la carga de trabajo mental influye directamente en el rendimiento académico y la eficacia del aprendizaje [1], ya que niveles excesivos de carga pueden afectar negativamente la atención y la retención de la información [2]. Además, comprender la carga de trabajo permite optimizar el diseño de las experiencias inmersivas, adaptándolas a las capacidades

¹ **Correspondencia:** Selene Belén Torres-Gonzales, storresg@unsa.edu.pe.

cognitivas de los estudiantes [3]. Según [4] la carga de trabajo mental se refiere a la cantidad de esfuerzo cognitivo y recursos mentales que una tarea o actividad demanda de un individuo. Incluye aspectos como la demanda de atención, procesamiento de información, toma de decisiones y otros factores mentales asociados a la ejecución de una tarea. Por lo que medir la carga de trabajo mental es crucial para comprender cómo las actividades afectan la capacidad cognitiva y emocional de las personas, especialmente en contextos donde se utilizan tecnologías o se llevan a cabo tareas complejas. Asimismo, el análisis realizado en la investigación contribuye a identificar posibles desafíos y obstáculos que los estudiantes pueden enfrentar al interactuar con estas tecnologías, permitiendo la implementación de estrategias pedagógicas específicas para mitigar la carga y mejorar la experiencia de aprendizaje. La evaluación de la carga de trabajo mental proporciona información valiosa para la toma de decisiones en la planificación y ejecución de actividades educativas que involucran el uso de RA y RV, asegurando un entorno de aprendizaje inmersivo más efectivo y beneficioso para los estudiantes [4]. En este contexto se plantea la siguiente pregunta de investigación ¿En qué medida las experiencias de aprendizaje utilizando la Realidad Aumentada (AR) y la Realidad Virtual (VR), aumentan o disminuyen la carga de trabajo mental dificultando o mejorando los aprendizajes?

Las tecnologías RA y RV están actualmente a la vanguardia de los avances en los sistemas de procesamiento y gestión de la información [5], [6], [7]. Abarcan una amplia gama de tecnologías de realidad virtual y aumentada, que a menudo se utilizan indistintamente con el término realidad mixta [8], [9]. La investigación sobre la realidad aumentada (AR) y la realidad virtual (VR) ha ganado un impulso significativo en varios campos [10], [11], [12], [13] y [14]. Esto demuestra la investigación en estos campos ha experimentado un notable impulso, evidenciando un interés creciente en diversos sectores. Los avances en RA y RV han demostrado su capacidad para transformar la manera en que interactuamos con la información y nuestro entorno, generando repercusiones significativas en campos que van desde la medicina hasta la educación. Este impulso continuo sugiere un futuro prometedor para estas tecnologías, con el potencial de redefinir experiencias y prácticas en múltiples disciplinas.

La RA y RV se ha empleado para mejorar el aprendizaje y la eficiencia laboral de los estudiantes y empleados al proporcionar información instantánea [15], [16] y [17] en el ámbito de la educación y la formación. Además, se ha utilizado para mejorar la eficacia de la rehabilitación física [18] en los sistemas de información de salud. Además, en el ámbito empresarial, aplicaciones como las tecnologías de prueba virtual [19], la presentación de catálogos de productos en AR [20], [21] y las tiendas de realidad virtual [22] presentan perspectivas de consumo de alta eficiencia y experiencias placenteras. Especialmente en el contexto del impacto mundial de la pandemia de coronavirus, las tecnologías de RV y RA están asumiendo un papel cada vez más importante en el desarrollo social y económico.

Según un informe publicado por [23], se proyecta que el mercado de la realidad aumentada (AR) y la realidad virtual (VR) experimentará una tasa de crecimiento considerable de más del 35% anual hasta 2024, teniendo en cuenta el impacto de la pandemia de COVID-19. Sin embargo, una proporción significativa de personas prevé o ha determinado, basándose en experiencias tempranas, que existen enormes limitaciones y desafíos asociados con la utilización de la realidad extendida (XR) en términos de facilidad de uso, comodidad, carga cognitiva, funcionalidad e interacción física. Además, el costo y el nivel de dificultad para los usuarios a la hora de realizar estas actividades virtuales dentro de los sistemas de información basados en la RA y RV siguen siendo inciertos.

En la literatura existente, los impedimentos y las complejidades relacionados con el uso de sistemas de información basados en tecnologías de Realidad extendida (XR) se han interpretado como la carga a la que probablemente se enfrentarán los usuarios. La comprensión actual de las repercusiones de las diversas tecnologías de XR en esta carga aún se encuentra en una fase incipiente. Existe un vacío en la investigación a la hora de discernir las similitudes y distinciones entre los desafíos y los costos de las realidades operativas creadas por las tecnologías de XR, como la finalización de tareas y la realización de actividades. Además, cabe señalar que la carga es de naturaleza multifacética y puede estar influenciada por diversos factores, como la motivación individual, las experiencias y capacidades previas, así como las características específicas de las tareas [24], [25]. Numerosos estudios relacionados con la XR han explorado la carga que experimentan los usuarios cuando utilizan dispositivos específicos [26], [27] o métodos, en lugar de evaluar la eficacia y la usabilidad de las tecnologías de XR desde una perspectiva más amplia. Además, muchos estudios no han investigado si estos efectos eran atribuibles a la tecnología mediadora o al contenido agregado o modificado intencionalmente. Es importante destacar que la investigación exhaustiva sobre cómo las tecnologías de XR afectan a varios aspectos de la carga ha tardado en surgir, y la literatura actual es limitada en términos de investigación sobre dimensiones específicas de la carga (por ejemplo, la carga de trabajo mental, [28]; la carga de trabajo física, [29]; la carga de trabajo cognitiva, [30]).

En el ámbito de los sistemas de información, la medición de la carga de trabajo individual, o la falta de ella, a menudo se pone en práctica como la facilidad general de utilizar un sistema de información para una tarea determinada. Esto se conoce comúnmente como «ausencia de esfuerzo» según el modelo de aceptación de la tecnología (TAM) propuesto por [31]. Si bien esta conceptualización y metodología se han empleado ampliamente en la literatura sobre la aceptación de la tecnología en las últimas décadas, ofrecen una comprensión limitada y parcial de la carga de trabajo y la usabilidad de los sistemas de información. Este enfoque no tiene en cuenta las posibles barreras que pueden impedir la adopción del sistema, como señalaron [32].

El concepto de carga de trabajo se percibe comúnmente como el esfuerzo o gasto (por ejemplo, físico, mental o emocional) que un individuo invierte en la ejecución de una tarea [33], [34]. La carga de trabajo puede estar influenciada por factores internos, como la motivación personal o la experiencia y las capacidades previas, así como por factores externos, como la naturaleza, la novedad, la dificultad y la cantidad de tareas realizadas por un individuo [35], [36]. Aunque inicialmente se basaba en los esfuerzos por evaluar el esfuerzo requerido para las tareas relacionadas con la aviación, por ejemplo [37], la evaluación de la carga de trabajo ha adquirido una relevancia cada vez mayor más allá del ámbito de la aviación. Esto se atribuye en particular a los rápidos avances tecnológicos y a la proliferación de sistemas novedosos que tienen como objetivo mejorar varios aspectos,

como la comodidad, la productividad y la eficiencia. En consecuencia, el examen de las demandas de carga de trabajo de los diversos sistemas de información se ha vuelto cada vez más importante. En la actualidad, la carga de trabajo también se utiliza para evaluar el diseño de la interfaz de los sistemas informáticos convencionales y los dispositivos portátiles, así como de las tecnologías que admiten la visión virtual y aumentada [33]. El objetivo final a menudo gira en torno a obtener una comprensión integral de cómo diseñar y mejorar los sistemas de manera que se garantice que los beneficios previstos no se vean comprometidos por una carga de trabajo excesiva durante el uso. En general, los ergonomistas y los diseñadores de tecnología de la información se esfuerzan por crear tecnología que minimice la carga de trabajo o, al menos, la mantenga dentro de un rango aceptable, por ejemplo [38], ya que la gestión eficaz de la carga de trabajo es crucial para la aceptación de los usuarios [39], la productividad, el rendimiento y el bienestar del usuario [40], [41]. Una consideración importante es que los usuarios poseen una capacidad limitada para gestionar la carga de trabajo. [42] aclara el concepto de capacidad adicional, según el cual, mientras la demanda de tareas se mantenga por debajo de la capacidad máxima de carga de trabajo de una persona, el rendimiento no debería verse afectado. Sin embargo, a medida que aumenta la complejidad o la dificultad de una tarea, la carga de trabajo percibida se intensifica y, si se supera el umbral aceptable, el rendimiento inevitablemente se verá afectado. De acuerdo con este razonamiento, no sorprende que, en las últimas décadas, las teorías sobre el ajuste de la tecnología de tareas [43] y las disciplinas dedicadas a la usabilidad de los sistemas, por ejemplo [44] y [45] hayan recibido una atención significativa en el ámbito de la interacción entre humanos y computadoras.

La necesidad de una evaluación práctica de la carga de trabajo mental asociada a la interacción humano-computadora ha llevado al desarrollo de varios enfoques de evaluación. Estos enfoques incluyen medidas objetivas basadas en indicadores de rendimiento y señales psicofisiológicas, así como medidas basadas en experiencias subjetivas [46] y [47]. Las medidas objetivas implican recopilar datos de rendimiento en tiempo real o medir las reacciones fisiológicas mediante electrodos, mientras que las medidas subjetivas se basan en la autoevaluación de la carga de trabajo de los individuos [47]. Un desafío general al evaluar la carga de trabajo es que las diferentes tareas están sujetas a diferentes fuentes de carga de trabajo, como las exigencias mentales y físicas. Además, el grado en que cada fuente específica contribuye a la carga de trabajo global percibida por un individuo (carga de trabajo ponderada) varía [48]. Para abordar este problema, se utiliza un esquema de ponderación para medir la carga de trabajo con mayor precisión, lo que requiere que los usuarios evalúen la contribución de las diferentes dimensiones de la carga de trabajo a la carga de trabajo general de una tarea específica [33]. El índice de carga de trabajo de la NASA-TLX es una medida ampliamente aceptada, está diseñado para abarcar la naturaleza multidimensional de la carga de trabajo y tener en cuenta las diferencias individuales en la percepción ponderada de la carga de trabajo [48]. Este instrumento de medición subjetiva permite a las personas cuantificar su carga de trabajo experimentada mediante un esquema ponderado y consta de seis dimensiones: la demanda física, la demanda mental, la demanda temporal, el rendimiento, el esfuerzo y la frustración [48]. Es importante señalar que una sola escala de esfuerzo que combine el esfuerzo físico y mental no puede capturar adecuadamente la información necesaria para abordar fuentes específicas de demandas [48]. Por lo tanto, el instrumento TLX de la NASA exige que los sujetos evalúen las exigencias físicas y mentales objetivas que se les imponen, en lugar de reflexionar sobre la cantidad de esfuerzo mental o físico que realizan [48].

Revisión de la literatura

Según la investigación desarrollada por [3] determinaron cómo las tecnologías de realidad extendida (AR y VR) influyen en las seis dimensiones de carga de trabajo (NASA Task Load Index: demanda mental, demanda física, demanda temporal, rendimiento, esfuerzo y frustración) y la carga de trabajo general, basándose en un experimento entre sujetos en el contexto minorista. Los resultados de un análisis detallado indican que la AR estaba significativamente asociada con la carga de trabajo general, especialmente la demanda mental y el esfuerzo, mientras que la VR no tuvo un efecto significativo en ninguna de las dimensiones de carga de trabajo. Además, los resultados de los efectos de interacción muestran que una combinación de AR y VR en comparación con una sola tecnología no aumentaría la dificultad de completar tareas (por ejemplo, carga de trabajo general y esfuerzo) e incluso podría disminuir la dificultad (por ejemplo, demanda física). La investigación realizó una contribución considerable tanto en investigación como en orientación práctica para diseñadores, desarrolladores y profesionales de XR.

Asimismo, Según la investigación desarrollada por [49] donde el objetivo fue evaluar las propiedades psicométricas del instrumento de evaluación de la carga mental de trabajo NASA-TLX en distintos grupos profesionales españoles. La muestra estuvo formada por 398 trabajadores que pertenecían a siete sectores profesionales diferentes. Todos los trabajadores evaluaron la carga mental percibida en sus puestos de trabajo, debida a cada una de las seis dimensiones de carga que distingue el NASA-TLX: esfuerzo, demanda mental, demanda física, demanda temporal, rendimiento y frustración. Los resultados mostraron una consistencia interna aceptable y una estructura factorial constituida por dos factores. Uno de los factores estaba formado únicamente por la dimensión “frustración”, mientras que el otro factor englobaba a las cinco dimensiones restantes. En la investigación se encontraron diferencias importantes en los perfiles de carga mental entre los grupos profesionales considerados, en todas las dimensiones de carga, excepto en rendimiento.

En este mismo contexto, según la investigación desarrollada por [50] donde el objetivo fue considerar los costos de carga de trabajo asociados con las versiones informáticas y en papel de la medida NASA-TLX. Se encontró que existe una diferencia significativa entre las puntuaciones de carga de trabajo para los dos medios, con la versión de computadora del NASA-TLX incurriendo en más carga de trabajo. Esto tiene implicaciones para el uso práctico del NASA-TLX, así como para otras medidas de carga de trabajo basadas en computadoras.

En la investigación desarrollada por [51] se evaluaron diversas propiedades psicométricas (intrusividad, sensibilidad,

diagnóstico y validez) de tres instrumentos multidimensionales de evaluación subjetiva de la carga de trabajo: el Índice de Carga de Tareas (TLX) de la NASA, la Técnica de Evaluación Subjetiva de la Carga de Trabajo (SWAT) y el Perfil de Carga de Trabajo (WP). Los participantes realizaron dos tareas de laboratorio, una de forma individual y otra de manera simultánea. Los resultados de los análisis de varianza (ANOVA) indicaron que no había diferencias significativas en cuanto a la intrusividad de los tres instrumentos, y que el WP destacaba en sensibilidad frente a diferentes manipulaciones de tareas. El análisis discriminante canónico reveló que los tres instrumentos proporcionaron información diagnóstica consistente con la naturaleza de las demandas de tareas. No obstante, el WP demostró un poder diagnóstico superior a TLX o SWAT. Se encontraron correlaciones positivas cercanas a uno entre las medidas de desempeño y las medidas subjetivas de carga de trabajo, demostrando una alta validez convergente.

En la escasa literatura de antecedentes de investigaciones que involucren el análisis de carga de trabajo mental, se encontró la investigación desarrollada por [4] cuyo objetivo fue desarrollar un análisis de la carga cognitiva producida por el uso de subtítulos en material educativo multimedia y su relación con el aprendizaje, la metodología utilizada para el desarrollo de la investigación presenta un enfoque cualitativo de tipo experimental. Se llevaron a cabo cuatro sesiones de aprendizaje utilizando videos multimedia con subtítulos y sin subtítulos, se aplicaron un pretest y un posttest con el fin de analizar la carga cognitiva involucrada en el uso de videos con subtítulos en las sesiones de aprendizaje, para la medición utilizaron la escala estandarizada de Pass y Van Merriënboer. Los resultados de esta investigación muestran que el uso de videos subtítulados en los procesos de enseñanza-aprendizaje requieren de mayor demanda cognitiva en comparación con el uso de videos sin subtítulos.

Metodología

La metodología sigue un enfoque cuantitativo cuasi experimental.

A. Objetivos de investigación

Analizar la carga de trabajo mental producida por experiencias de aprendizaje inmersivas, a través del uso de la realidad virtual y realidad aumentada en estudiantes de Educación Básica Regular.

B. Hipótesis de investigación

El uso de la realidad virtual en entornos de aprendizaje inmersivos produce una carga de trabajo mental positiva; mientras que el uso de la realidad aumentada no implica mayor demanda de trabajo mental en entornos de aprendizaje inmersivos, esto en comparación con aprendizajes tradicionales.

C. Variables de investigación

- Variable independiente: Entornos de aprendizaje inmersivo a través del uso de la RA y RV
- Variable dependiente: Carga de trabajo mental
- Variables controladas: Tiempo de duración de la experiencia y temática de la experiencia, Edad y nivel de competencia tecnológica y ambiente de la experimentación.

D. Población y muestra

La población seleccionada para la experimentación estuvo conformada por 100 estudiantes del quinto año de secundaria de Educación Básica Regular, de los cuales se dividieron en dos grupos de 50 estudiantes cada uno, a través de un muestreo aleatorio simple, tal como se puede apreciar en la tabla 1.

Tabla 1. Detalles del trabajo con los grupos experimental y de control

Grupos	Número de estudiantes	Tratamiento	Duración
Grupo experimental	50	En las sesiones se aplican estrategias utilizando la RA y RV	7 semanas
Grupo de control	50	Las sesiones se desarrollan de forma tradicional	7 semanas

E. Instrumento de recolección de datos

Para evaluar la carga de trabajo mental, se utilizó el instrumento estandarizado denominado NASA-TLX (Task Load Index) desarrollado por el Human Performance Group del Centro de Investigación Ames de la NASA que fue desarrollado en un periodo de tres años que incluyó más de 40 simulaciones de laboratorio. Este instrumento se basa en el supuesto de que la carga de trabajo mental es un constructo hipotético que representa el costo en el que incurre el usuario al tratar de alcanzar un nivel específico de rendimiento. De esta forma el nivel de carga mental surgiría de la interacción entre los requisitos de una tarea, las circunstancias bajo las que ésta es realizada y las habilidades, conductas y percepciones del operador [48]. La técnica NASA-TLX, distingue las seis dimensiones de carga de trabajo mental, tal como se puede apreciar en la tabla 2.

Tabla 2. Dimensiones que considera el instrumento NASA-TLX

Dimensiones	Descripción
Demanda mental	Cantidad de actividad mental y perceptiva que requiere la tarea (por ejemplo: pensar, decidir, calcular, recordar, mirar, buscar, etc.).
Demanda física	Cantidad de actividad física que requiere la tarea (Por ejemplo: pulsar, empujar, girar, controlar, activar, etc.).
Demanda temporal	Nivel de presión temporal sentida. Razón entre el tiempo requerido y el disponible.
Esfuerzo	Grado de esfuerzo mental y físico que tiene que realizar el sujeto para obtener su nivel de rendimiento.
Rendimiento	Hasta qué punto el individuo se siente satisfecho con su nivel de rendimiento.
Frustración	Hasta qué punto el sujeto se siente inseguro, estresado, irritado, descontento, etc. durante la realización de la tarea.

F. Procedimiento

La metodología empleada para ejecutar la experimentación comprende una serie de actividades destinadas a cuantificar la carga de trabajo mental mediante la utilización de experiencias de aprendizaje inmersivas que utilizan realidad aumentada (AR), realidad virtual (VR)). Todos los participantes fueron debidamente informados de las características prácticas de la investigación en la que iban a participar, haciendo especial hincapié en el carácter voluntario y anónimo de su participación. Siguiendo el protocolo prescrito para la implementación de la técnica TLX de la NASA, se procedió inicialmente a la ejecución de la fase de comparaciones binarias entre las distintas dimensiones de carga, seguida posteriormente de la evaluación de la carga de trabajo mental asociada a cada dimensión.

La tabla 3 presenta una estructura detallada de las actividades planificadas para cada sesión en el contexto de aprendizaje inmersivo utilizando realidad aumentada (AR) y realidad virtual (VR). Cada sesión tiene actividades específicas diseñadas para cumplir con objetivos educativos, y se describen tanto las actividades como los objetivos de manera concisa. La duración de cada sesión se especifica, indicando el tiempo asignado para cada actividad.

Tabla 3. Planificación de actividades de las sesiones desarrolladas con el grupo experimental.

Sesión	Actividades	Descripción	Objetivos	Duración
Sesión 1: Utilización de la Realidad Aumentada	Introducción	Se realiza una introducción al tópico sobre aprendizajes inmersivos	Diferenciar experiencias con Realidad Aumentada de Realidad Virtual y Realidad Mixta	1 semana
	Exploración de Historia Local c	Lo estudiantes ven capas de información histórica superpuestas en el entorno real, facilitando una comprensión más profunda de los eventos pasados y su conexión con el presente.	Desarrollar una aplicación de AR que permita a los estudiantes explorar lugares históricos locales.	1 semana
Sesión 2: Utilización de la Realidad Aumentada	Simulación de Entrevistas Sociales	Integran personajes virtuales en entornos reales, los estudiantes practicarán técnicas de entrevista en contextos realistas, mejorando su capacidad para recopilar y analizar datos cualitativos.	Implementar una experiencia de AR que simule situaciones sociales específicas para mejorar las habilidades de entrevista en estudiantes.	1 semana
	Simulación de Investigación de Campo	Los estudiantes utilizan dispositivos de realidad aumentada para superponer datos virtuales en entornos del mundo real. Esto les permitirá realizar estudios simulados, recopilar datos y analizar tendencias sociales directamente en sus entornos locales, proporcionando una conexión práctica con los conceptos teóricos aprendidos en clase.	Implementar una experiencia de realidad aumentada que simule investigaciones de campo en el área de ciencias sociales	1 semana
Sesión 3: Utilización de la Realidad Virtual	Viaje Virtual a Épocas Históricas	Los estudiantes utilizan visores de VR para explorar y experimentar directamente eventos históricos significativos, facilitando una comprensión más profunda de las épocas estudiadas en las clases de ciencias sociales.	Desarrollar una experiencia de realidad virtual que permita a los estudiantes sumergirse en entornos históricos clave	1 semana
Sesión 4: Utilización de la Realidad Virtual	Simulación de Perspectivas Sociales	Los estudiantes se sumergen en escenarios virtuales que representan diferentes contextos culturales, económicos o políticos. Esta actividad fomenta la empatía y el entendimiento al permitir que los estudiantes experimenten de manera virtual la vida desde diversas perspectivas, mejorando así su conciencia social.	Simular diversas perspectivas sociales para llegar a conclusiones generales.	1 semana
	Entorno de Discusión Virtual	Los estudiantes asumen un avatar virtual que los representarán, permitiéndoles interactuar en un entorno 3D compartido. Esto fomentará la participación activa y el intercambio de ideas, enriqueciendo las discusiones en el aula.	Utilizar dispositivos como Holo Lens y participar en discusiones virtuales sobre temas sociales	1 semana

G. Aplicación del instrumento de la NASA-TLX

Durante la progresión de las actividades, los participantes son sometidos a la prueba NASA-TLX para cuantificar la carga de trabajo cognitiva encontrada en cada una de las experiencias realizadas con AR, y RV. La aplicación de esta prueba requiere dos fases diferenciadas. La fase primaria tiene como objetivo adquirir la percepción inicial de las personas sobre la importancia de cada una de las seis dimensiones, que sirven como posibles fuentes de tensión mental. Para recopilar los datos necesarios, se implementa el procedimiento de comparación binaria, en el que inicialmente se establecen 15 comparaciones binarias entre las seis dimensiones. El sujeto debe seleccionar, de cada par, la dimensión que perciba como la fuente de carga más importante. Para cada dimensión, se calcula un peso en función del número de veces que se elige en las comparaciones binarias. Este peso puede oscilar entre 0 (lo que indica que la dimensión no se seleccionó en ninguna de las comparaciones) y 5 (lo que indica que la dimensión se eligió en todas las comparaciones en las que apareció). En la fase posterior, una vez realizada la tarea o las tareas de interés, el sujeto tiene la tarea de estimar la carga mental atribuida a cada una de las seis dimensiones en una escala del 0 al 100, dividida en intervalos de 5 unidades. Utilizando los datos obtenidos en ambas fases, se calcula un índice completo de la carga mental de la tarea. Este índice se obtiene de la suma de las evaluaciones de cada dimensión, se pondera por el peso de la dimensión obtenido en la fase de comparaciones binarias y se divide entre 15 [52].

H. Consistencia interna del instrumento

Con objeto de analizar la fiabilidad de la técnica NASA-TLX, entendida como consistencia interna, se calculó el coeficiente Alpha de Cronbach para la escala total. Los resultados obtenidos en este análisis mostraron un índice de consistencia $\alpha = 0.70$.

II. Análisis e interpretación de los resultados

En la Tabla 4 se muestran las medias y desviaciones típicas de las puntuaciones de carga de trabajo mental obtenidas por la muestra total y por cada uno de los grupos experimental y de control, tanto para el índice global de carga como para cada una de las dimensiones que distingue el NASA-TLX. La evaluación corresponde a la medición de la carga de trabajo mental realizada a través de la experimentación con Realidad Virtual.

Tabla 4. Medias y desviaciones típicas de las evaluaciones de carga de trabajo mental en cada una de las dimensiones del NASA-TLX, para la experiencia con Realidad Virtual

Grupos	Estadísticos	Esfuerzo	Demanda Mental	Demanda Física	Demanda Temporal	Rendimiento	Frustración	Índice Global
Experimental	Media	78.1	81.21	60.17	80.71	71.22	54.28	69.15
	Desviación Típica	19.23	17.83	23.89	16.22	22.13	27.68	10.25
De control	Media	22.19	44.06	48.06	44.19	49.23	81.25	48.16
	Desviación Típica	27.51	29.08	29.17	27.41	16.42	21.35	14.88
Muestra total	Media	61.22	72.92	45.2	64.13	74.18	39.27	59.48
	Desviación Típica	23.12	23.42	28.07	24.16	20.67	27.67	14.38

La tabla 4 presenta evaluaciones detalladas de la carga de trabajo mental en las diferentes dimensiones del instrumento de la NASA-TLX para la experiencia con Realidad Virtual (RV). En el grupo experimental que participó en la RV, se destacan niveles elevados de esfuerzo, demanda mental y temporal, indicando que la RV impone una carga cognitiva y temporal considerable a los participantes. A pesar de un rendimiento relativamente alto, la presencia de frustración sugiere que la interacción con la RV conlleva desafíos emocionales. Por otro lado, el grupo de control, que no experimentó RV, muestra una carga mental general menor, aunque con una frustración considerablemente más alta. La evaluación global de la muestra total refleja una carga mental intermedia. Este análisis subraya la complejidad de la carga mental asociada con la RV, resaltando la importancia de abordar tanto las demandas cognitivas como las emocionales al implementar esta tecnología en contextos experimentales y la necesidad de estrategias que mitiguen la frustración percibida

Tabla 5. Percentiles de las puntuaciones en cada una de las dimensiones y el índice global de carga de trabajo mental para la experiencia con realidad virtual

Dimensión	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Decatipo 1	Decatipo 2	Decatipo 3
Esfuerzo	50.605	61.22	74.72	≤ 50.605	50.606 - 61.22	61.221 - 74.72
Demanda Mental	66.565	72.92	81.32	≤ 66.565	66.566 - 72.92	72.921 - 81.32
Demanda Física	45.2	64.13	73.175	≤ 45.2	45.201 - 64.13	64.131 - 73.175
Demanda Temporal	56.15	74.18	82.725	≤ 56.15	56.151 - 74.18	74.181 - 82.725
Rendimiento	51.175	39.27	47.425	≤ 51.175	51.176 - 39.27	39.271 - 47.425
Frustración	37.275	59.48	73.33	≤ 37.275	37.276 - 59.48	59.481 - 73.33
Índice Global	51.505	58.48	67.1	≤ 51.505	51.506 - 58.48	58.481 - 67.1

índice global de carga mental para la experiencia con Realidad Virtual (RV). En la dimensión de esfuerzo, el percentil 25 muestra una puntuación moderada, pero a medida que aumenta, alcanza valores más altos en los percentiles 50 y 75, indicando un aumento significativo en la carga de trabajo percibida. La demanda mental sigue un patrón similar, siendo más pronunciada en los percentiles 50 y 75. En cuanto a la demanda física, se observa un aumento progresivo desde el percentil 25 hasta el 75, sugiriendo que la RV puede implicar una carga física considerable. La demanda temporal muestra un aumento marcado desde el percentil 25 al 75, resaltando desafíos temporales significativos. Sorprendentemente, el rendimiento exhibe una disminución desde el percentil 25 al 75, indicando posibles dificultades en la ejecución de tareas. La frustración, por su parte, presenta un aumento notorio desde el percentil 25 al 75, reflejando un nivel creciente de frustración con la experiencia de RV. En el índice global, se observa un aumento consistente desde el percentil 25 al 75, evidenciando una carga mental general más alta en niveles superiores de la escala. Estos resultados sugieren que, mientras que la RV puede ofrecer experiencias inmersivas, también puede generar desafíos significativos en términos de esfuerzo, demanda mental y temporal, rendimiento y frustración.

La tabla 6 se muestran las medias y desviaciones típicas de las puntuaciones de carga de trabajo mental obtenidas por la muestra total y por cada uno de los grupos experimental y de control, tanto para el índice global de carga como para cada una de las dimensiones que distingue el NASA-TLX. La evaluación corresponde a la medición de la carga de trabajo mental realizada a través de la experimentación con Realidad Aumentada.

Tabla 6. Medias y desviaciones típicas de las evaluaciones de carga mental en cada una de las dimensiones del NASA-TLX, para la experiencia con Realidad Aumentada.

Grupos	Estadísticos	Esfuerzo	Demanda Mental	Demanda Física	Demanda Temporal	Rendimiento	Frustración	Índice Global
Experimental	Media	37.25	71.12	33.18	61.99	62.89	43.28	55.11
	Desviación Típica	22.79	21.5	26.19	24.98	18.26	22.45	16.15
De control	Media	22.19	44.06	48.06	44.19	49.23	81.25	48.16
	Desviación Típica	27.51	29.08	29.17	27.41	16.42	21.35	14.88
Muestra total	Media	62.23	72.05	47.21	63.16	73.28	40.13	59.67
	Desviación Típica	22.15	24.12	28.18	25.23	21.58	26.48	15.89

La tabla 6 presenta evaluaciones detalladas de la carga mental en diversas dimensiones del instrumento NASA-TLX para la experiencia con Realidad Aumentada (RA). En el grupo experimental de RA, se observa un esfuerzo moderado con una demanda mental significativamente alta, indicando que la RA involucra una carga cognitiva considerable. Aunque la demanda física es relativamente baja, la temporal es notable, sugiriendo que la RA impone restricciones temporales significativas. El rendimiento y la frustración se sitúan en niveles intermedios, señalando que, si bien los participantes pueden lograr resultados aceptables, experimentan ciertos desafíos y frustraciones durante la interacción con la RA. En comparación, el grupo de control muestra una carga mental general menor, pero con una frustración aún considerable. La evaluación global de la muestra total revela una carga mental intermedia, destacando la complejidad de implementar la RA en términos de demandas cognitivas y emocionales. Estos resultados subrayan la importancia de considerar cuidadosamente las dimensiones específicas de la carga mental al diseñar y evaluar experiencias con RA, buscando estrategias para optimizar tanto el rendimiento como la experiencia emocional del usuario.

Tabla 7. Percentiles de las puntuaciones en cada una de las dimensiones y el índice global de carga mental para la experiencia con realidad aumentada.

Dimensión	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Decatipo 1	Decatipo 2	Decatipo 3
Esfuerzo	43.8425	62.23	74.1475	<= 43.8425	43.8426 - 62.23	62.231 - 74.1475
Demanda Mental	50.4225	72.05	84.6025	<= 50.4225	50.4226 - 72.05	72.051 - 84.6025
Demanda Física	37.9675	47.21	55.265	<= 37.9675	37.9676 - 47.21	47.211 - 55.265
Demanda Temporal	57.7725	63.16	70.77	<= 57.7725	57.7726 - 63.16	63.161 - 70.77
Rendimiento	63.6975	73.28	81.2175	<= 63.6975	63.6976 - 73.28	73.281 - 81.2175
Frustración	46.72	40.13	55.405	<= 46.72	46.721 - 40.13	40.131 - 55.405
Índice Global	53.31	59.67	66.4275	<= 53.31	53.311 - 59.67	59.671 - 66.4275

La Tabla 7 detalla los percentiles de las puntuaciones en cada dimensión y el índice global de carga mental para la experiencia con Realidad Aumentada (RA). En el esfuerzo, el percentil 25 muestra una carga moderada que se intensifica en los percentiles 50 y 75, indicando un aumento progresivo en el esfuerzo percibido. La demanda mental también sigue una tendencia ascendente desde el percentil 25 hasta el 75, señalando una mayor carga cognitiva. La demanda física muestra una

leve variación, siendo más notable en el percentil 75. La demanda temporal presenta un aumento desde el percentil 25 hasta el 75, indicando desafíos temporales en la experiencia con RA. El rendimiento, por otro lado, muestra una mejora desde el percentil 25 al 75, sugiriendo eficacia en la ejecución de tareas. La frustración muestra una disminución desde el percentil 25 hasta el 75, indicando una menor percepción de frustración en niveles superiores. En el índice global, se observa un aumento moderado desde el percentil 25 hasta el 75. Estos resultados sugieren que la RA puede generar una carga moderada en términos de esfuerzo y demanda mental, con mejoras en rendimiento y menor frustración en niveles más altos de la escala. Sin embargo, persisten desafíos temporales significativos.

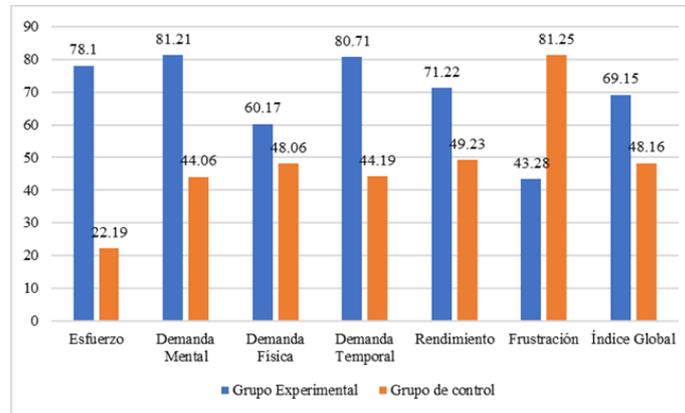


Fig. 1. Comparación entre las dimensiones de carga de trabajo mental en la experiencia con RV

La figura 1 compara las puntuaciones promedio de carga mental según las dimensiones del método NASA TLX para el Grupo Experimental y el Grupo de Control en el contexto de la experiencia con realidad virtual. En el Esfuerzo, el Grupo Experimental muestra una puntuación sustancialmente más alta (78.1) en comparación con el Grupo de Control (22.19), indicando que las tareas realizadas en realidad virtual requieren un esfuerzo significativamente mayor. La Demanda Mental es también notoriamente superior en el Grupo Experimental (81.21) en comparación con el Grupo de Control (44.06), sugiriendo una carga cognitiva más intensa en las actividades virtuales. Asimismo, en Demanda Física, el Grupo Experimental supera al Grupo de Control (60.17 frente a 48.06), señalando una mayor exigencia física en las tareas de realidad virtual. La Demanda Temporal muestra una puntuación más elevada en el Grupo Experimental (80.71) en comparación con el Grupo de Control (44.19), indicando una mayor presión temporal en las actividades virtuales. A pesar de estas cargas mentales más intensas, el Grupo Experimental logra un Rendimiento superior (71.22 frente a 49.23) y experimenta menos Frustración (43.28 frente a 81.25) en comparación con el Grupo de Control. En el Índice Global, el Grupo Experimental exhibe una puntuación significativamente más alta (69.15) que el Grupo de Control (48.16), indicando una carga mental generalmente más intensa en las actividades de realidad virtual. Estos resultados sugieren que, aunque la realidad virtual impone una carga mental más elevada, conlleva beneficios en términos de rendimiento y frustración comparado con las actividades en el mundo real o con otras tecnologías.

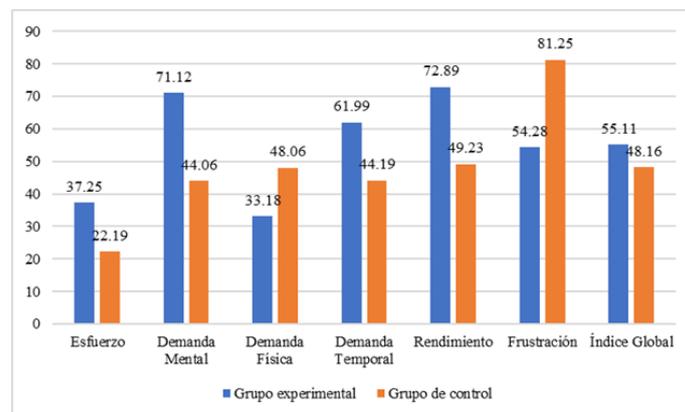


Fig. 2. Comparación entre las dimensiones de carga de trabajo mental en la experiencia con RA

La figura 2 compara las puntuaciones promedio de carga mental por dimensiones del instrumento NASA TLX para el Grupo Experimental y el Grupo de Control en el contexto de la experiencia con realidad aumentada. En Esfuerzo, el Grupo Experimental exhibe una puntuación considerablemente más baja (37.25) en comparación con el Grupo de Control (22.19), indicando que las tareas de realidad aumentada requieren menos esfuerzo físico. En Demanda Mental, el Grupo Experimental presenta una puntuación más alta (71.12) que el Grupo de Control (44.06), señalando una mayor carga cognitiva en las actividades de realidad aumentada. La Demanda Física muestra un valor bajo en el Grupo Experimental (33.18) en comparación con el Grupo de Control (48.06), indicando que la realidad aumentada impone menos exigencia física. La Demanda Temporal es ligeramente más alta en el Grupo Experimental (61.99) que en el Grupo de Control (44.19), indicando una presión temporal moderada en las actividades de realidad aumentada. En Rendimiento, el Grupo Experimental supera al Grupo de Control (72.89 frente a 49.23), sugiriendo un mejor rendimiento en las tareas de realidad aumentada. A pesar de estas diferencias, ambos grupos experimentan niveles comparables de Frustración (54.28 para el Grupo Experimental y 81.25 para el Grupo de Control). En el Índice Global, el Grupo Experimental muestra una puntuación más alta (55.11) que el Grupo de Control (48.16), indicando una carga mental globalmente más intensa en las actividades de realidad aumentada. Estos resultados sugieren que, en comparación con el Grupo de Control, el Grupo Experimental experimenta una carga mental diferente, con menos esfuerzo físico pero una mayor carga cognitiva y un rendimiento mejorado en las tareas de realidad aumentada.

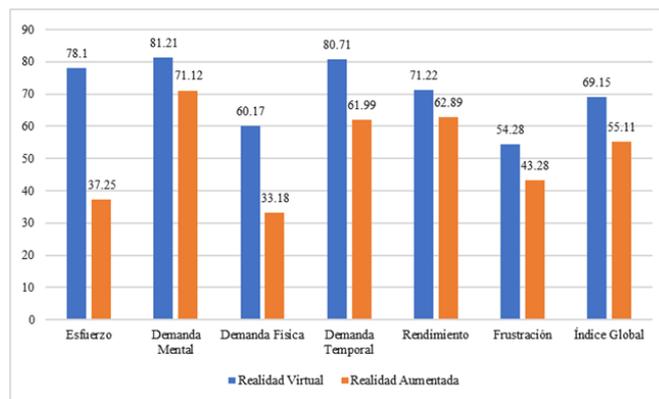


Fig. 3. Comparación entre las dimensiones de carga de trabajo mental en las experiencias con RA y RV

La figura 3 compara las puntuaciones promedio de carga mental por dimensiones del instrumento NASA TLX entre la experiencia con Realidad Virtual (RV) y la experiencia de Realidad Aumentada (RA). En Esfuerzo, la RV exhibe una puntuación más alta (78.1) en comparación con la RA (37.25), indicando que las tareas de RV requieren un mayor esfuerzo físico. La Demanda Mental es comparable entre RV (81.21) y RA (71.12), sugiriendo una carga cognitiva similar en ambas experiencias. En Demanda Física, la RV muestra una puntuación más alta (60.17) que la RA (33.18), señalando una mayor exigencia física en las actividades de RV. La Demanda Temporal es ligeramente más alta en RV (80.71) que en RA (61.99), indicando una presión temporal más intensa en las actividades de RV. En Rendimiento, la RV supera a la RA (71.22 frente a 62.89), sugiriendo un mejor rendimiento en las tareas de RV. La Frustración es comparable entre RV (54.28) y RA (43.28), indicando niveles similares de frustración en ambas experiencias. En el Índice Global, la RV muestra una puntuación más alta (69.15) que la RA (55.11), indicando una carga mental globalmente más intensa en las actividades de RV. Estos resultados sugieren que la RV y la RA generan demandas diferentes en términos de esfuerzo físico, exigencia cognitiva, rendimiento y carga mental global, resaltando las distintas características y desafíos asociados con cada modalidad de realidad extendida.

V. Discusión

La investigación desarrollada sobre la carga mental en experiencias inmersivas con realidad virtual (RV) y realidad aumentada (RA) contribuye significativamente al campo, especialmente al contrastar y complementar hallazgos previos. En comparación con las investigaciones previas, nuestros resultados revelan que la realidad virtual (RV) impone una carga cognitiva y temporal considerable en el grupo experimental, destacando elevados niveles de esfuerzo, demanda mental y temporal. En comparación con el estudio realizado por [3], que evaluó la influencia de las tecnologías de realidad extendida en las dimensiones de carga de trabajo, nuestra investigación aporta detalles adicionales al examinar cómo estas tecnologías afectan tanto cuantitativa como cualitativamente la experiencia del usuario.

En la investigación realizada por [3], la realidad aumentada (AR) estaba significativamente asociada con la carga de trabajo general, especialmente la demanda mental y el esfuerzo, mientras que la realidad virtual (VR) no tenía un efecto significativo en ninguna de las dimensiones de carga de trabajo. En contraste, nuestros resultados sugieren que la RV impone una carga mental más intensa que la RA, lo cual se evidencia en los niveles más elevados de esfuerzo, demanda mental, demanda física y demanda temporal en el grupo experimental de RV en comparación con el grupo de control. Este hallazgo resalta la

necesidad de entender las diferencias en la carga mental entre diversas tecnologías inmersivas, ya que la complejidad de la RV puede traducirse en mayores demandas cognitivas y temporales para los usuarios.

Adicionalmente, la investigación llevada a cabo por [49] sobre propiedades psicométricas del NASA-TLX en distintos grupos profesionales españoles es relevante para contextualizar nuestra evaluación de la carga mental. Aunque nuestro enfoque difiere al evaluar experiencias inmersivas en estudiantes de quinto grado, ambos estudios resaltan la importancia de comprender la variabilidad en las respuestas a las demandas cognitivas y emocionales, incluso en contextos diversos.

Por otro lado, la comparación con la investigación de [50], que considera los costos de carga de trabajo asociados con versiones informáticas y en papel del NASA-TLX, enfatiza la importancia de las herramientas de medición. Nuestra elección de utilizar el NASA-TLX proporciona una base sólida y comparable con otros estudios, garantizando la consistencia en la evaluación de la carga mental. A su vez, [51], que evaluó propiedades psicométricas de varios instrumentos, destaca la relevancia de seleccionar herramientas sensibles a las manipulaciones de tareas, y nuestros resultados respaldan la validez y utilidad del NASA-TLX en el contexto de experiencias inmersivas con RV y RA.

Finalmente, [4], que analiza la carga cognitiva en el uso de subtítulos en material educativo multimedia, proporciona un marco adicional para entender la carga mental en contextos de aprendizaje, destacando la importancia de considerar las implicaciones educativas y emocionales al implementar tecnologías inmersivas en entornos educativos.

En resumen, la investigación desarrollada se integra en un cuerpo creciente de conocimientos sobre la carga mental en contextos diversos, desde la realidad extendida hasta aplicaciones específicas en la educación. Al comparar y contrastar con estos estudios, nuestras conclusiones ofrecen perspectivas valiosas sobre cómo la RV y la RA afectan la carga mental, respaldando la necesidad de estrategias específicas para abordar las demandas cognitivas y emocionales asociadas con estas tecnologías.

VI. Conclusiones

Los resultados de la investigación proporcionan una comprensión detallada de la carga de trabajo mental asociada con experiencias inmersivas tanto en realidad virtual (RV) como en realidad aumentada (RA). En el caso de la RV, se observa niveles elevados de esfuerzo, demanda mental y temporal en el grupo experimental, indicando que esta tecnología impone una carga cognitiva y temporal considerable a los participantes. Aunque lograron un rendimiento relativamente alto, la presencia de frustración resalta los desafíos emocionales asociados con la interacción en entornos de RV. En contraste, el grupo de control, que no experimentó RV, mostró una carga mental general menor, aunque con una frustración considerablemente más alta. Estos hallazgos subrayan la complejidad de la carga mental en la RV, destacando la importancia de abordar tanto las demandas cognitivas como emocionales al implementar esta tecnología.

En cuanto a la RA, el grupo experimental exhibió un esfuerzo moderado con una demanda mental significativamente alta, indicando que la RA involucra una carga cognitiva considerable. Aunque la demanda física fue relativamente baja, la carga temporal fue notable, sugiriendo restricciones temporales significativas asociadas con la RA. A pesar de ciertos desafíos y frustraciones durante la interacción con la RA, el rendimiento fue aceptable. Comparado con el grupo de control, que mostró una carga mental general menor, pero con frustración considerable, los resultados resaltan la complejidad de implementar la RA en términos de demandas cognitivas y emocionales.

En ambos casos, la evaluación global de la muestra total reveló cargas mentales intermedias, subrayando la importancia de considerar cuidadosamente las dimensiones específicas de la carga mental al diseñar y evaluar experiencias inmersivas. La figura 2, que compara las puntuaciones promedio de carga mental según las dimensiones del método NASA TLX, refuerza la conclusión de que, aunque la RV impone una carga mental más elevada, conlleva beneficios en términos de rendimiento y frustración comparado con las actividades en el mundo real o con otras tecnologías. Estos resultados enfatizan la necesidad de estrategias que optimicen tanto el rendimiento como la experiencia emocional del usuario al implementar tecnologías inmersivas.

Las diferencias en la carga mental entre las experiencias con RA y RV resaltan la importancia de considerar las características específicas de cada tecnología inmersiva al diseñar experiencias de aprendizaje.

VII. Limitaciones y futuras recomendaciones

Una limitación de la presente investigación radica en el tamaño de la muestra, ya que se trabajó con un grupo específico de estudiantes de quinto grado de secundaria (totalidad de estudiantes con los que se disponía). Futuros trabajos podrían considerar ampliar la muestra incluyendo participantes de diferentes niveles educativos, edades y contextos, con el fin de obtener resultados más generalizables.

La investigación se basó en un período limitado de siete sesiones de aprendizaje. Futuras investigaciones podrían extender la duración del estudio para evaluar de manera más completa el impacto a largo plazo de las tecnologías de realidad aumentada y virtual en la carga mental, considerando posibles adaptaciones y cambios en la percepción de los participantes a lo largo del tiempo.

Aunque se empleó un enfoque cualitativo, se sugiere la inclusión de métodos cuantitativos para obtener una comprensión más completa de las variaciones en la carga mental. La incorporación de mediciones cuantitativas podría ofrecer una

perspectiva más rigurosa sobre las diferencias y similitudes entre los grupos experimental y de control.

La investigación se centró en las dimensiones del NASA-TLX para evaluar la carga mental, pero futuros trabajos podrían explorar otras variables, como la motivación, el compromiso emocional y la satisfacción del usuario, para obtener una imagen más completa de la experiencia del participante.

Contextos Específicos: La investigación se llevó a cabo en el contexto de sesiones de aprendizaje en Ciencias Sociales. Para obtener una comprensión más amplia, futuras investigaciones podrían explorar la carga mental en diversos contextos educativos y profesionales, lo que permitiría identificar posibles variaciones en la experiencia de carga mental según el entorno.

Dada la presencia de frustración y desafíos emocionales, futuros trabajos podrían centrarse en el desarrollo de estrategias específicas para mitigar estos aspectos negativos. La identificación y aplicación de técnicas para mejorar la experiencia emocional de los participantes podría contribuir significativamente al diseño de entornos inmersivos más efectivos.

Sería relevante realizar comparaciones a largo plazo entre la realidad virtual y aumentada, considerando la evolución de la tecnología y la adaptación de los usuarios. Evaluar el impacto de estas tecnologías a medida que avanzan podría proporcionar información valiosa para su implementación futura.

Referencias

- [1] B. Maraza-Quispe, J. L. Torres-Loayza, G. T. Reymer-Morales, R. M. Solórzano-Bernuy, S. A. Choquehuayta-Palomino and F. M. Pacori-Aviles, "Impact of the Use of the Video Game SimCity on the Development of Critical Thinking in Students: A Quantitative Experimental Approach," in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 18, no. 4, pp. 411-418, 2023. <https://doi:10.1109/RITA.2023.3327066>
- [2] B. Maraza-Quispe, O. M. Alejandro-Oviedo, K. S. Llanos-Talavera, W. Choquehuayta-Quispe, S. A. Choquehuayta-Palomino, and N. E. Cayturo-Silva, "Towards the Development of Emotions through the Use of Augmented Reality for the Improvement of Teaching-Learning Processes," *International Journal of Information and Education Technology* vol. 13, no. 1, pp. 56-63, 2023. <https://doi:10.18178/ijiet.2023.13.1.1780>
- [3] N. Xi, J. Chen, F. Gama, M. Riar, and J. Hamari, "The challenges of entering the metaverse: An experiment on the effect of extended reality on workload," *Inf. Syst. Front.*, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10796-022-10244-x>
- [4] B. Maraza-Quispe, O. M. Alejandro-Oviedo, W. C. Fernandez-Gambarini, L. E. Cuadros-Paz, W. Choquehuayta-Quispe, and E. Rodriguez-Zayra, "Analysis of the Cognitive Load Produced by the Use of Subtitles in Multimedia Educational Material and Its Relationship with Learning," *International Journal of Information and Education Technology* vol. 12, no. 8, pp. 732-740, 2022. <https://doi:10.18178/ijiet.2022.12.8.1678>
- [5] M. J. Kim, & C. M. Hall. A hedonic motivation model in virtual reality tourism: Comparing visitors and non-visitors. *International Journal of Information Management.*, 46, 236–249. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.11.016>
- [6] P. A. Rauschnabel. Augmented reality is eating the real-world! The substitution of physical products by holograms. *International Journal of Information Management.*, 57, 102279. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102279>
- [7] N. Xi & J. Hamari. Shopping in virtual reality: A literature review and future agenda. *Journal of Business Research.*, 134, 37–58. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.075>
- [8] Å. Fast-Berglund, L. Gong & D. Li. Testing and validating Extended Reality (xR) technologies in manufacturing. *Procedia Manufacturing.*, 25, 31–38. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.054>
- [9] A. O. Kwok & S. G. Koh. COVID-19 and extended reality (XR). *Current Issues in Tourism.*, 24(14), 1935–1940. 2021. <https://doi.org/10.1080/13683500.2020.1798896>
- [10] X. Zhang, S. Jiang, P. Ordóñez de Pablos, M. D. Lytras, & Y. Sun. How virtual reality affects perceived learning effectiveness: A task-technology fit perspective. *Behaviour & Information Technology.*, 36(5), 548–556. 2017. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2016.1268647>
- [11] J. Pfeiffer, T. Pfeiffer, M. Meißner & E. Weiß. Eye-tracking-based classification of information search behavior using machine learning: Evidence from experiments in physical shops and virtual reality shopping environments. *Information Systems Research.*, 31(3), 675–691. 2020. <https://doi.org/10.1287/isre.2019.0907>
- [12] K. T. Manis & D. Choi. The virtual reality hardware acceptance model (VR-HAM): Extending and individuating the technology acceptance model (TAM) for virtual reality hardware. *Journal of Business Research.*, 100, 503–513. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.10.021>
- [13] M. Y.-C. Yim, S.-C. Chu, and P. L. Sauer, "Is augmented reality technology an effective tool for E-commerce? An interactivity and vividness perspective," *J. Interact. Mark.*, vol. 39, pp. 89–103, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.intmar.2017.04.001>
- [14] K. Klinker, M. Wiesche & H. Krcmar. Digital transformation in health care: Augmented reality for hands-free service innovation. *Information Systems Frontiers.*, 22(6), 1419–1431. 2020. <https://doi.org/10.1007/s10796-019-09937-7>
- [15] P. M. Bednar & C. Welch. Socio-technical perspectives on smart working: Creating meaningful and sustainable systems. *Information Systems Frontiers.*, 22(2), 281–298. 2020. <https://doi.org/10.1007/s10796-019-09921-1>
- [16] B. Lal, Y. K. Dwivedi & M. Haag. Working from home during Covid-19: Doing and managing technology-enabled social interaction

- with colleagues at a distance. *Information Systems Frontiers*. 2021. <https://doi.org/10.1007/s10796-021-10182-0>
- [17] K. Lee. Augmented reality in education and training. *TechTrends*., 56(2), 13–21. 2012. <https://doi.org/10.1007/s11528-012-0559-3>
- [18] S. Afanasiev, T. Maykova, V. Kashuba, I. Carp, A. Afanasieva & S. Futornyi. Ways of improving the efficiency of physical rehabilitation means for patients with generative-dystrophic diseases of adolescents. *Journal of Physical Education and Sport*., 18, 1945–1949. 2018. <https://doi.org/10.7752/jpes.2018.s4287>
- [19] J. Kim & S. Forsythe. Adoption of Virtual Try-on technology for online apparel shopping. *Journal of Interactive Marketing*., 22(2), 45–59. 2008. <https://doi.org/10.1002/dir.20113>
- [20] A. Poushneh & A. Z. Vasquez-Parraga. Discernible impact of augmented reality on retail customer's experience, satisfaction and willingness to buy. *Journal of Retailing and Consumer Services*., 34, 229–234. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2016.10.005>
- [21] A. Rese, S. Schreiber & D. Baier. Technology acceptance modeling of augmented reality at the point of sale: Can surveys be replaced by an analysis of online reviews? *Journal of Retailing and Consumer Services*., 21(5), 869–876. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2014.02.011>
- [22] C. Peukert, J. Pfeiffer, M. Meißner, T. Pfeiffer & C. Weinhardt. Shopping in virtual reality stores: The influence of immersion on system adoption. *Journal of Management Information Systems*., 36(3), 755–788. 2019. <https://doi.org/10.1080/07421222.2019.1628889>
- [23] Technavio. COVID-19 Impacts: Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) Market Will Accelerate at a CAGR of Over 35% Through 2020-2024. The Increasing Demand for AR and VR Technology to Boost Growth. Technavio. 2020. <https://bit.ly/3u9OuKz>
- [24] S.G. Hart. Theoretical basis for workload assessment research at NASA-Ames research center. In Frazier, M.L., Crombie, R.B., (Eds.), *Proceedings of the workshop on flight testing to identify pilot workload and pilot dynamics*. Edward Air Force Base, CA, AFFTC-TR-82-5. 1982. <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADP001150>
- [25] N. Meshkati. Toward development of a cohesive model of workload. *Advances in Psychology*., 52, 305–314. 1988. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62394-8](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62394-8)
- [26] M. Caria, G. Todde, G. Sara, M. Piras, & A. Pazzona. Performance and usability of smartglasses for augmented reality in precision livestock farming operations. *Applied Sciences*., 10(7), 2318. 2020. <https://doi.org/10.3390/app10072318>
- [27] C. H. Wang, N. H. Tsai, J. M. Lu & M. J. J. Wang. Usability evaluation of an instructional application based on Google Glass for mobile phone disassembly tasks. *Applied Ergonomics*., 77, 58–69. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.01.007>
- [28] X. Zhao, C. Shi, X. You & C. Zong. Analysis of mental workload in online shopping: Are augmented and virtual reality consistent? *Frontiers in Psychology*., 8, 71. 2017. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00071>
- [29] T. Chihara & A. Seo. Evaluation of physical workload affected by mass and center of mass of head-mounted display. *Applied Ergonomics*., 68, 204–212. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.11.016>
- [30] C. Tremmel, C. Herff, T. Sato, K. Rechowicz, Y. Yamani & D. J. Krusienski. Estimating cognitive workload in an interactive virtual reality environment using EEG. *Frontiers in Human Neuroscience*., 13, 401. 2019. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00401>
- [31] F.D. Davis. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*. 319-340. 1989. <https://doi.org/10.2307/249008>
- [32] S. Taylor & P. Todd. Understanding information technology usage: a test of coming models. *Information Systems Research*, 6, 144–176. 2001. <https://doi.org/10.1287/isre.6.2.144>
- [33] S.G. Hart. NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later, in: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting (Vol. 50, No. 9)*, Sage Publications Los Angeles, pp. 904-908. 2006. <https://doi.org/10.1177/154193120605000909>
- [34] S. G. Hart & C. D. Wickens. *Workload Assessment and Prediction*. In H. R. Booher (Ed.), Manprint. Springer. 1990. https://doi.org/10.1007/978-94-009-0437-8_9
- [35] S.G. Hart. Theoretical basis for workload assessment research at NASA-Ames research center. In Frazier, M.L., Crombie, R.B., (Eds.), *Proceedings of the workshop on flight testing to identify pilot workload and pilot dynamics*. Edward Air Force Base, CA, AFFTC-TR-82-5. 1982.
- [36] N. Meshkati. Toward development of a cohesive model of workload. *Advances in Psychology*., 52, 305–314. 1988. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62394-8](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62394-8)
- [37] W. C. Li, A. Horn, Z. Sun, J. Zhang & G. Braithwaite. Augmented visualization cues on primary flight display facilitating pilot's monitoring performance. *International Journal of Human-Computer Studies*., 135, 102377. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.102377>
- [38] R. Grier, C. Wickens, D. Kaber, D. Strayer, D. Boehm-Davis, J.G. Trafton, M. St. John. The red-line of workload: Theory, research, and design, in: *Proceedings of The Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting (Vol. 52, No. 18)*, Sage Publications, Los Angeles, pp. 1204-1208. 2008. <https://doi.org/10.1177/154193120805201811>
- [39] Y. M. Dang, Y. G. Zhang, S. A. Brown & H. Chen. Examining the impacts of mental workload and task-technology fit on user acceptance of the social media search system. *Information Systems Frontiers*., 22(3), 697–718. 2020. <https://doi.org/10.1007/s10796-018-9879-y>
- [40] H. S. Jung & H. S. Jung. Establishment of overall workload assessment technique for various tasks and workplaces. *International Journal of Industrial Ergonomics*., 28(6), 341–353. 2001. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(01\)00040-3](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(01)00040-3)
- [41] W. MacDonald. The impact of job demands and workload on stress and fatigue. *Australian Psychologist*., 38(2), 102–117. 2003. <https://doi.org/10.1080/00050060310001707107>
- [42] B. H. Kantowitz. 3. Mental workload. *Advances in Psychology*., 47, 81–121. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62307-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62307-9)

- [43] Goodhue, D. L., & Thompson, R. L. (1995). Task-technology fit and individual performance. *MIS Quarterly*, 213–236. 1987. <https://doi.org/10.2307/249689>
- [44] H. Hoehle, V. Venkatesh. Mobile application usability: conceptualization and instrument development. *MIS Quarterly*. 39(2), 435–472. 2015. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2015/39.2.08>
- [45] J. R. Lewis. Usability: Lessons learned... and yet to be learned. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 30(9), 663–684. 2014. <https://doi.org/10.1080/10447318.2014.930311>
- [46] B. Cain. A review of the mental workload literature. Defence Research and Development Toronto. 2007. <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA474193>
- [47] P. S. Tsang & M. A. Vidulich. Mental workload and situation awareness. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (pp. 243–268). John Wiley & Sons. 2006. <https://doi.org/10.1002/0470048204.ch9>
- [48] S. G. Hart & L. E. Staveland. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in Psychology*, 52, 139–183. 1988. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- [49] D. R. Eva, R. V. Susana, M. G. Jesus, and L. M. Lourdes, “Estudio Psicométrico del Índice de Carga Mental NASA-TLX con una Muestra de Trabajadores Españoles,” *Rev. Psicol. Trab. Las Organ.*, vol. 26, no. 3, pp. 191–199, 2010. <https://doi.org/10.5093/tr2010v26n3a3>
- [50] J. M. Noyes and D. P. J. Bruneau, “A self-analysis of the NASA-TLX workload measure,” *Ergonomics*, vol. 50, no. 4, pp. 514–519, 2007. <https://doi.org/10.1080/00140130701235232>
- [51] S. Rubio, E. Díaz, J. Martín, and J. M. Puente, “Evaluation of subjective mental workload: A comparison of SWAT, NASA-TLX, and Workload Profile methods,” *Appl. Psychol.*, vol. 53, no. 1, pp. 61–86, 2004. <https://doi.org/10.1111/j.1464-0597.2004.00161.x>
- [52] I. Arquer & C. Nogareda. Estimación de la carga mental de trabajo: el método NASA TLX. NTP 544. Madrid: INSHT. 1999. <https://bit.ly/3UbRqRu>