

## RESUMEN

# Esfuerzo mental durante los cambios de contexto en entornos de realidad aumentada con fines de aprendizaje

Luis Bautista Rojas<sup>1\*</sup>, Fernanda Maradei<sup>1</sup>, Gabriel Pedraza<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Industrial de Santander, Colombia

\*Correspondencia: Luis Bautista Rojas

[lueduba@uis.edu.co](mailto:lueduba@uis.edu.co)

---

## INTRODUCCIÓN

La Realidad Aumentada (RA) es una tecnología que combina información digital y física en tiempo real, ofreciendo experiencias de aprendizaje novedosas. La RA permite anotaciones en tiempo real, integración espacial y uso simultáneo de visión y tacto, mejorando la percepción y reduciendo el esfuerzo mental. Sin embargo, el cambio constante de atención entre objetos reales e información aumentada puede introducir esfuerzo mental (Eiberger et al., 2019), afectando la capacidad de integrar la información (Mark et al., 2008). La Teoría de la Carga Cognitiva y la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia describen cómo los seres humanos procesan información, enfocándose en la capacidad limitada de la memoria de trabajo. La tecnología debe mantener una carga baja en la memoria de trabajo para evitar esfuerzo mental (Dankelman et al., 2005; Lim et al., 2009; Maggio et al., 2015; Melo, 2018; Melo & Miranda, 2016; Vandewaetere et al., 2015). Algunos estudios muestran que los cambios de contexto pueden realizarse con mayor rapidez pero con mayor carga cognitiva y esfuerzo mental. Otros estudios sugieren que el impacto puede depender de la distancia entre el objeto y el observador, la naturaleza del objeto y el tipo de dispositivo. Este estudio propone conocer el impacto del cambio de contexto en zonas cercanas al observador con dispositivos HMD binoculares en tareas

de aprendizaje procedimental, evaluando la carga cognitiva y el esfuerzo mental.

## OBJETIVO

Establecer si el cambio de contexto que se presenta en el uso de la realidad aumentada durante el aprendizaje procedimental afecta la carga cognitiva de los estudiantes.

## METODOLOGÍA

Para realizar la verificación de la influencia del cambio de contexto en la carga cognitiva de los participantes, se diseñó y ejecutó una prueba experimental con 34 participantes (18 Hombres, 16 mujeres) con un promedio de edad de 22 años. Asimismo, se diseñó e implementó un prototipo funcional para el aprendizaje de anatomía de superficie de rodilla usando realidad aumentada. Este estudio fue aprobado por el Comité de ética e Investigación Científica de la Universidad Industrial de Santander.

Diseño del Estudio:

**Hipótesis:** El Esfuerzo Mental es diferente cuando hay cambio de contexto que cuando no hay cambio de contexto.

**Variable Independiente:** Factor A: Cambio de Contexto. La variable independiente fue definida por el cambio de contexto que debe realizar el participante durante el uso del material de aprendizaje.

**Variables Dependientes:** Medidas de rastreo ocular: 1) tiempo de fijación en el área de interés (AOI) y 2)



cantidad de fijaciones en el área de interés (AOI) 3) Delta de Dilatación pupilar. **Herramientas:** Gafas de Rastreo Ocular SMI, Gafas de Realidad Aumentada Microsoft Hololens 2. **Procedimiento:** La prueba comenzó con la lectura del consentimiento informado y la solicitud de participación voluntaria y firma del participante. Luego, se recopiló información demográfica y se realizó una prueba de conocimiento previo. El participante realizó un tutorial de tres minutos con Hololens2 para familiarizarse con la tecnología, seguido de un descanso de cinco minutos. A continuación, se calibraron las gafas SMI para el rastreo ocular y se inició la captura de datos. Después de colocar las gafas Hololens2, el participante fue instruido para iniciar el prototipo, estableciendo primero el basal de tamaño pupilar. Las tareas se repitieron para diez estructuras anatómicas superficiales de la rodilla, según el tratamiento asignado. **Análisis Estadístico:** Se utilizó un modelo lineal invariado. El modelo se analizó para identificar diferencias significativas en el esfuerzo mental entre tratamientos. Se verificó el comportamiento paramétrico con la prueba Shapiro-Wilk y la homogeneidad de datos con el estadístico de Levene, ambos al 5% de significancia. Se compararon las medias con la prueba T-student, considerando significativos los valores de  $p < 0,05$ . Los análisis se realizaron en SPSS V26.

## RESULTADOS

Se analizaron tres datos de carga cognitiva objetiva: Delta de Diámetro pupilar, Duración de fijaciones en AOI y Cantidad de fijaciones en AOI. Delta de Diámetro pupilar: Se observó un promedio mayor sin cambio de contexto (0,789 con SD 0,90) comparado con el nivel con cambio (0,550 con SD 0,94). La prueba Shapiro-Wilk mostró un p-valor de 0,134, estableciendo normalidad, y la prueba de Levene un p-valor de 0,800, estableciendo homogeneidad. La prueba T-Student indicó que el cambio de contexto no mostró diferencias significativas. Duración de fijaciones en AOI: La duración promedio fue mayor con cambio de contexto (4734,33 ms con SD 625,51). La prueba Shapiro-Wilk obtuvo un p-valor de 0,673, y el test de Levene un p-valor de 0,495,

estableciendo normalidad y homogeneidad. La prueba T-Student mostró diferencias significativas con un p-valor de 0,031, indicando que el cambio de contexto influye en la duración de las fijaciones. Cantidad de fijaciones en AOI: La media fue mayor sin cambio de contexto (1782,15 con DS 423,10) comparada con el cambio de contexto (1427 con DS 389,75). La prueba Shapiro-Wilk mostró un p-valor de 0,117, y el test de Levene un p-valor de 0,805, estableciendo normalidad y homogeneidad. La prueba T-student mostró un p-valor de 0,017, indicando que el cambio de contexto afecta la cantidad de fijaciones. El tamaño del efecto fue grande (Delta de Cohen 0,869).

## CONCLUSIÓN

Los resultados mostraron que las medidas objetivas basadas en el rastreo ocular, evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos. La duración y cantidad de fijaciones en el AOI, sugieren la presencia de esfuerzo mental cuando no hay cambio de contexto. A pesar de esto, una medida ampliamente usada como el Delta de diámetro pupilar, mostró un mayor nivel de dilatación pupilar cuando no hay cambio de contexto, permitiendo aceptar parcialmente la hipótesis del estudio.

**Palabras Clave:** realidad aumentada, esfuerzo mental, interfaz de usuario, rastreo ocular, aprendizaje

**Keywords:** augmented reality, mental effort, user interface, eyetracking, learning



REFERENCIAS

1. Dankelman, J., Chmarra, M. K., Verdaasdonk, E. G. G., Stassen, L. P. S., & Grimbergen, C. A. (2005). Fundamental aspects of learning minimally invasive surgical skills. *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies*, 14(4–5), 247–256.  
<https://doi.org/10.1080/13645700500272413>
2. Eiberger, A., Kristensson, P. O., Mayr, S., Kranz, M., & Grubert, J. (2019). Effects of Depth Layer Switching between an Optical See-Through Head-Mounted Display and a Body-Proximate Display. *Symposium on Spatial User Interaction*, 1–9.  
<https://doi.org/10.1145/3357251.3357588>
3. Lim, J., Reiser, R. A., & Olina, Z. (2009). The effects of part-task and whole-task instructional approaches on acquisition and transfer of a complex cognitive skill. *Educational Technology Research and Development*, 57(1), 61–77.  
<https://doi.org/10.1007/s11423-007-9085-y>
4. Maggio, L. A., Cate, O. Ten, Irby, D. M., & O'Brien, B. C. (2015). Designing evidence-based medicine training to optimize the transfer of skills from the classroom to clinical practice: Applying the four component instructional design model. *Academic Medicine*, 90(11), 1457–1461.  
<https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000000769>
5. Mark, G., Gudith, D., & Klocke, U. (2008). The cost of interrupted work: More speed and stress. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 107–110.  
<https://doi.org/10.1145/1357054.1357072>
6. Melo, M. (2018). The 4C/ID-Model in Physics Education: Instructional Design of a Digital Learning Environment to Teach Electrical Circuits. *International Journal of Instruction*, 11(1), 103–122.  
<https://doi.org/10.12973/iji.2018.1118a>
7. Melo, M., & Miranda, G. L. (2016). Efeito do modelo 4C/ID sobre a aquisição e transferência de aprendizagem: Revisão de literatura com meta-análise. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, 18, 114–130.  
<https://doi.org/10.17013/risti.18.114-130>
8. Vandewaetere, M., Manhaeve, D., Aertgeerts, B., Clarebout, G., Van Merriënboer, J. J. G., & Roex, A. (2015). 4C/ID in medical education: How to design an educational program based on whole-task learning: AMEE Guide No. 93. *Medical Teacher*, 37(1), 4–20.  
<https://doi.org/10.3109/0142159X.2014.928407>

