

NeuroArquitectura, el diseño arquitectónico centrado en el usuario: Una mejora de la memoria de los estudiantes a través de los elementos de diseño del aula.

1 INTRODUCCIÓN

Gracias al avance en el ámbito de la realidad virtual (RV), cada vez son más los estudios que analizan como el espacio construido influye en las personas [1,2]. Los espacios educativos deben ser diseñados para potenciar los procesos cognitivos, como la memoria, involucrados en el aprendizaje [3]. A pesar de que este tipo de procesos son funciones neuropsicológicas objetivas, la mayoría de los estudios enfocados desde el ámbito de la construcción se limitan a basar los diseños en percepciones subjetivas [4], sin tener en cuenta variables internas tan importantes como el género, ya que está demostrado que hombres y mujeres procesan la información del entorno de diferente forma [5].

2 OBJETIVO

Analizar el efecto que genera el diseño de un aula en el nivel de memoria de los estudiantes y la percepción de su preferencia del propio espacio atendiendo al género. Para ello, se persiguieron tres objetivos específicos a través del uso de RV:

1. Determinar que el elemento de diseño del aula repercute más en la memoria y preferencia.
2. Identificar las diferencias de los niveles de memoria y preferencia entre géneros a los cambios de los elementos de diseño.
3. Concretar los valores de los parámetros de los elementos de diseño óptimos que no generen desigualdad entre géneros.

3 METODOLOGÍA

Se llevó a cabo un experimento de laboratorio donde los participantes visualizaban 4 aulas en RV aleatorizadas de un conjunto de aulas, mientras se recogían datos del:

- Rendimiento de memoria: prueba de memoria basado en el recuerdo de palabras presentadas auditivamente [6,7].
- Nivel de preferencia del espacio: valoración subjetiva del agrado que producía un aula en función de una puntuación en una escala tipo Likert de -4 a 4.

El conjunto de aulas se elaboraron a partir de un aula física real de la Universitat Politècnica de València. Se replicó dicha aula como aula control y modificaciones de la misma en los valores de tres elementos de diseño y sus respectivos parámetros (Figura 1). La Tabla 1 muestra todos los valores analizados.

Esta metodología se estructura en tres fases consecutivas, correspondiente a cada uno de los objetivos específicos:

Fase 1. Se comparó mediante la prueba U de Mann-Whitney las diferencias en el rendimiento de memoria y la percepción al cambio de elementos de diseño con respecto al aula control de un total de 200 estudiantes (Figura 2).

Fase 2. Se comparó mediante la prueba U de Mann-Whitney las diferencias en el rendimiento de memoria y la percepción entre: 1) géneros en los diferentes elementos de diseño y 2) el aula control y los cambios en los diferentes elementos de diseño de un total de 200 estudiantes, 100 hombres y 100 mujeres (Figura 2).

Fase 3. Se comparó mediante la prueba ANOVA, y posterior análisis post-hoc de Bonferroni, las diferencias en el rendimiento de memoria entre géneros en los diferentes parámetros de los elementos de diseño de un total de 100 estudiantes, 50 hombres y 50 mujeres (Figura 2).

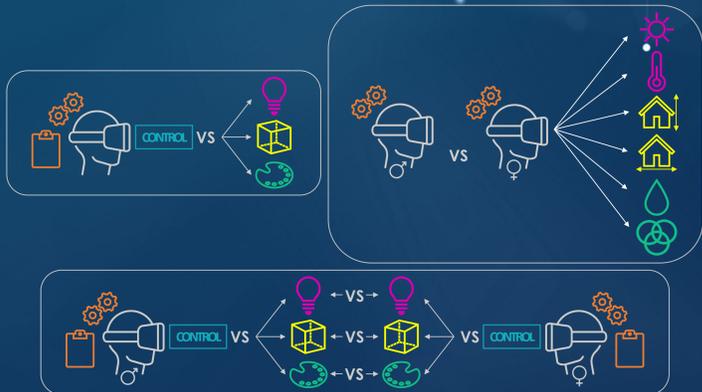


Figura 2. Esquema representativo del análisis estadístico realizado en la fase 1 (cuadrante superior izquierdo), 2 (cuadrante inferior) y 3 (cuadrante superior derecho).

4 RESULTADOS

Los resultados obtenidos son expresados en niveles medios estandarizados y se organizan de acuerdo a las fases abordadas. Estos resultados forman parte de la Tesis Doctoral "Generación de métricas para evaluar el impacto cognitivo del espacio docente, mediante medición neurocomportamental en entornos virtuales", siendo publicados en diferentes artículos de revista [8,9,10]:

R 1. Los resultados determinan que, los cambios de iluminación son percibidos conscientemente en términos de preferencias, y que dichos cambios también generan diferencias en la memoria (Figura 3).

R 2. Los resultados identifican que el cambio de iluminación afecta a la preferencia tanto de hombres como de mujeres, pero solo implica a la memoria de los hombres. Además, no hay diferencia entre la preferencia de iluminación entre género, pero, sin embargo, los cambios en todos los elementos de diseño sí dan lugar a diferencias en el rendimiento de memoria de hombres y mujeres (Figura 4).

R 3. Los resultados concretan que ciertos parámetros, como la iluminancia de 300 lx, la CCT de 10,500 k y 3,000 k, la altura de 3.2 metros, el ancho de 3.6 metros, la saturación baja y el tono 5P (morado) generan resultados significativamente diferentes en la memoria (Figura 5).

5 CONCLUSIÓN

El uso conjunto de RV y Neurociencia, es una herramienta válida para estudiar el impacto que tiene el diseño en la cognición humana. La iluminación es elemento de diseño que más afecta la percepción, en términos de preferencia, y el rendimiento de la memoria del conjunto de los estudiantes. No obstante, la percepción de los cambios no es diferente entre géneros, pero si los niveles de memoria para todos los elementos estudiados (iluminación, forma y color). Por tanto, se hace evidente la necesidad de atender medidas objetivas, y no solo subjetivas, para realizar un diseño verdaderamente centrado en el usuario. En base a ello, las aulas con iluminancia de 100 lx, CCT de 6500 k, alto de 3.8 m, ancho de 7.2 m, una saturación baja y un tono de 5B (azul), pueden plantearse como un diseño óptimo que favorezca la memoria de los alumnos sin crear diferencias entre géneros.

6 UTILIDADES

El interés de estos resultados puede establecerse a varios niveles:

- Científico. Contribuye al conocimiento de la influencia de los elementos y parámetros espaciales en los procesos cognitivos de los estudiantes.
- Tecnológico. Permite la aplicación de la RV en el diseño de espacios centrados en el usuario.
- Empresarial-económico. Desarrollar espacios que estén validados y certificados científicamente para favorecer la memoria de los estudiantes.
- Social. Fomentar el uso de espacios de aprendizaje inclusivos, minimizando las diferencias que puedan causar entre hombres y mujeres.



Figura 1. Ejemplo de aulas virtuales modificadas en iluminación (imagen izquierda), color (imagen central) y forma (imagen derecha).

Elemento	ILUMINACIÓN		DIMENSIÓN		COLOR	
	Iluminancia	CCT	Alto	Ancho	Saturación	Tono*
Parámetro	Iluminancia	CCT	Alto	Ancho	Saturación	Tono*
Valores	500 lx 300 lx 500 lx	10500 k 6500 k 4000 k 3000 k	4.4 m 3.8 m 3.2 m 2.6 m	8.4 m 7.2 m 6 m 4.8 m 3.6 m 2.4 m	Baja Alta	5P 5R 5Y 5G 5B

Tabla 1. Cuadro resumen de las características del diseño de aula estudiadas. Nota: La iluminancia y temperatura del color (CCT) hacen referencia a la iluminación interna artificial del aula, el alto y el ancho hacen referencia a la altura del techo y ancho de planta que constituyen la dimensión del aula, la saturación y tono hacen referencia al color de las paredes del aula. *Los valores del parámetro Tono están expresados según la notación de la Escala de Munsell.

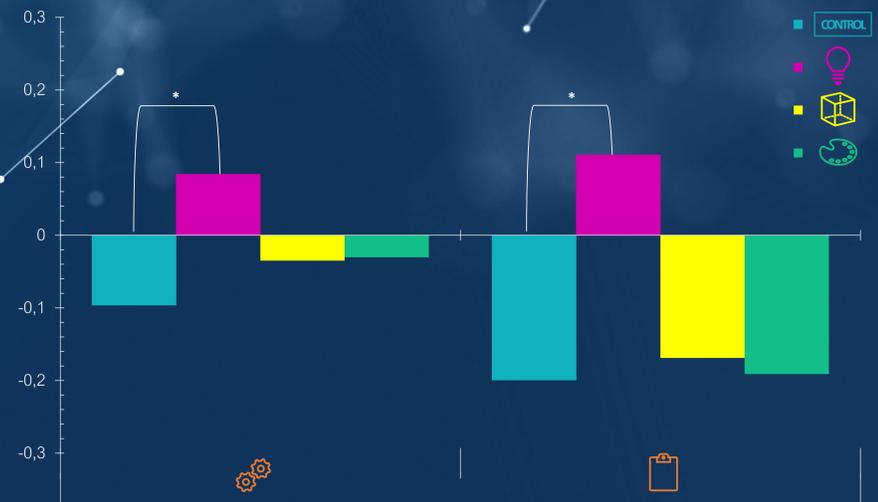


Figura 3. Gráfica de los niveles de memoria y preferencia en aulas de RV atendiendo al tipo de elemento modificado.

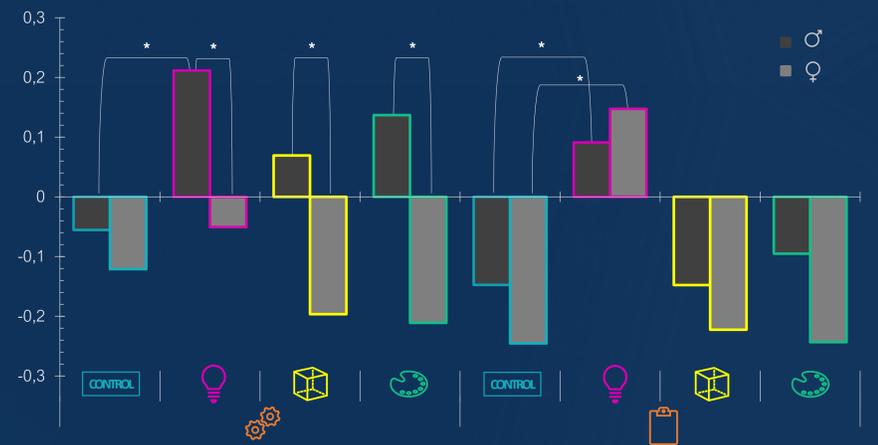


Figura 4. Gráfica de los niveles de memoria y preferencia en aulas de RV atendiendo al tipo de elemento modificado, diferenciando entre hombres y mujeres.

5 CONCLUSIÓN

El uso conjunto de RV y Neurociencia, es una herramienta válida para estudiar el impacto que tiene el diseño en la cognición humana. La iluminación es elemento de diseño que más afecta la percepción, en términos de preferencia, y el rendimiento de la memoria del conjunto de los estudiantes. No obstante, la percepción de los cambios no es diferente entre géneros, pero si los niveles de memoria para todos los elementos estudiados (iluminación, forma y color). Por tanto, se hace evidente la necesidad de atender medidas objetivas, y no solo subjetivas, para realizar un diseño verdaderamente centrado en el usuario. En base a ello, las aulas con iluminancia de 100 lx, CCT de 6500 k, alto de 3.8 m, ancho de 7.2 m, una saturación baja y un tono de 5B (azul), pueden plantearse como un diseño óptimo que favorezca la memoria de los alumnos sin crear diferencias entre géneros.

6 UTILIDADES

El interés de estos resultados puede establecerse a varios niveles:

- Científico. Contribuye al conocimiento de la influencia de los elementos y parámetros espaciales en los procesos cognitivos de los estudiantes.
- Tecnológico. Permite la aplicación de la RV en el diseño de espacios centrados en el usuario.
- Empresarial-económico. Desarrollar espacios que estén validados y certificados científicamente para favorecer la memoria de los estudiantes.
- Social. Fomentar el uso de espacios de aprendizaje inclusivos, minimizando las diferencias que puedan causar entre hombres y mujeres.



Figura 5. Gráfica de los niveles de memoria en aulas de RV atendiendo al tipo de parámetro modificado, diferenciando entre hombres y mujeres.

[1] Latini, A., Di Giuseppe, E., D'Orazio, M., & Di Perna, C. (2021). Exploring the use of immersive virtual reality to assess occupants' productivity and comfort in workplaces: An experimental study on the role of walls colour. *Energy and Buildings*, 253, 111508.

[2] Karakas, T., & Yildiz, D. (2020). Exploring the influence of the built environment on human experience through a neuroscience approach: A systematic review. *Frontiers of Architectural Research*, 9(1), 236-247.

[3] Bernabéu, E., Universidad, B., & De Vitoria, F. (2017). Attention and Memory: Critical processes for learning. Applications for educational environments. *ReiDoCrea*, 6, 16-23.

[4] Nyrud, A. O., Bringslimark, T., & Bysheim, K. (2014). Benefits from wood interior in a hospital room: A preference study. *Architectural Science Review*, 57(2), 125-131.

[5] Picucci, L., Caffo, A. D., & Bosco, A. (2011). Besides navigation accuracy: Gender differences in strategy selection and level of spatial confidence. *Journal of Environmental Psychology*, 31(4), 430-438.

[6] Alonso, M. A., Fernández, A., Díez, E., & Beato, M. S. (2004). Índices de producción de falso recuerdo y falso reconocimiento para 55 listas de palabras en castellano. *Psicothema*, 16(3), 357-362.

[7] Beato, M. S., & Díez, E. (2011). False recognition production indexes in Spanish for 60 DRM lists with three critical words. *Behavior Research Methods*, 43(2), 499-507.

[8] Nolé, M. L., Higuera-Trujillo, J. L., & Linares, C. (2021). Effects of classroom design on the memory of university students: from a gender perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 9391. [Q1, JCR]

[9] Nolé, M. L., Soler, D., Higuera-Trujillo, J. L., & Linares, C. (2022). Optimization of the Cognitive Processes in a Virtual Classroom: A Multi-objective Integer Linear Programming Approach. *Mathematics*, 10(7), 1184. [Q1, JCR]

[10] Nolé, M. L., Higuera-Trujillo, J. L., & Linares, C. (2023). Lighting, colour and geometry: Which has the greatest influence on students' cognitive processes?. *Frontiers of Architectural Research*. [Q1, SJR]

María Luisa Nolé Fajardo
Programa de Doctorado en Arquitectura, Edificación, Urbanística y Paisaje
Director de Tesis: María del Carmen Linares Millán



Instituto Universitario de Investigación en Tecnología Centrada en el Ser Humano (HUMAN-tech)
El autor cuenta con el apoyo del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España (FPU19/03531).