

Neurotecnología en la enseñanza superior: Un análisis de atención y emoción con eye tracking

Neurotechnology in higher education:
An analysis of attention and emotion using eye tracking

—

Victor del Carmen Avendaño Porras
victor.avendano@upnmda.edu.mx
ORCID: 0000-0003-1962-3892

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL UNIDAD 31-A. MÉRIDA, YUCATÁN. MÉXICO

Para citar este artículo:

Avendaño Porras, V. del C. Neurotecnología en la enseñanza superior: Un análisis de atención y emoción con eye tracking. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 15(43). <https://doi.org/10.31644/IMASD.43.2026.a05>

RESUMEN

Este estudio comparativo utilizó tecnología de seguimiento ocular para evaluar la atención y la activación emocional de estudiantes de Arquitectura y Psicología Clínica durante clases teóricas presenciales. El objetivo fue identificar diferencias en los patrones de procesamiento visual, atención y reactividad emocional entre ambos grupos, y explorar la relación entre estas métricas y el rendimiento académico. Participaron 12 estudiantes voluntarios, 6 de Arquitectura y 6 de Psicología Clínica, seleccionados por muestreo de conveniencia. Se registró su actividad ocular durante tres sesiones de una hora, utilizando el software Pupil Core. Se analizaron mapas de calor de atención, métricas de fijación y cambios en el tamaño de la pupila. Los datos se compararon entre grupos y se correlacionaron con el rendimiento académico. Los estudiantes de Arquitectura mostraron mayor atención a detalles visuales, patrones y formas, mientras que los de Psicología Clínica se enfocaron más en emociones, expresiones y lenguaje corporal. Se encontraron diferencias significativas en la duración media y dispersión de las fijaciones, y en la reactividad emocional entre ambos grupos. Las métricas de seguimiento ocular se correlacionaron con el rendimiento académico, aunque de manera diferente en cada disciplina. Los resultados sugieren la necesidad de adaptar las estrategias de enseñanza y los materiales educativos a las características específicas de cada disciplina. La tecnología de seguimiento ocular puede ser una herramienta valiosa para evaluar y optimizar los materiales educativos en función de los patrones de atención y activación emocional de los estudiantes.

Palabras clave:

Neuroeducación; seguimiento ocular; atención; activación emocional; educación superior.

— Abstract —

This comparative study utilized eye-tracking technology to evaluate the attention and emotional activation of Architecture and Clinical Psychology students during in-person theoretical classes. The objective was to identify differences in visual processing patterns, attention, and emotional reactivity between both groups, and to explore the relationship between these metrics and academic performance. Twelve volunteer students, 6 from Architecture and 6 from Clinical Psychology, selected through convenience sampling, participated in the study. Their eye activity was recorded during three one-hour sessions using Pupil Core software. Attention heatmaps, fixation metrics, and changes in pupil size were analyzed. Data were compared between groups and correlated with academic performance. Architecture students exhibited greater attention to visual details, patterns, and shapes, while Clinical Psychology students focused more on emotions, expressions, and body language. Significant differences were found in the average duration and dispersion of fixations, as well as in emotional reactivity between the two groups. Eye-tracking metrics correlated with academic performance, albeit differently in each discipline. The results suggest the need to adapt teaching strategies and educational materials to the specific characteristics of each discipline. Eye-tracking technology can be a valuable tool for evaluating and optimizing educational materials based on students' attention and emotional activation patterns.

Keywords:

Neuroeducation; eye-tracking; attention; emotional activation; higher education.

La educación superior enfrenta desafíos constantes para adaptarse a las necesidades cambiantes de la sociedad y preparar a los estudiantes para un mundo cada vez más complejo y dinámico. En este contexto, la neuroeducación ha surgido como un campo interdisciplinario que busca integrar los conocimientos de las neurociencias, la psicología y la educación para comprender mejor los procesos de aprendizaje y mejorar las prácticas educativas (Campos, 2010; Goswami, 2006; Tokuhamma-Espinosa, 2011).

Una de las áreas de interés de la neuroeducación es el estudio de los procesos cognitivos y emocionales que subyacen al aprendizaje, como la atención, la memoria y la motivación (Mayer, 2019; Willingham, 2009). La atención, en particular, ha sido reconocida como un factor clave en el aprendizaje, ya que permite a los estudiantes seleccionar y procesar la información relevante, así como regular su comportamiento y emociones (Posner y Rothbart, 2007; Steinmayr et al., 2010).

Por otro lado, adicional a la atención, la activación emocional ha sido identificada como otro factor importante en el aprendizaje. Dicha activación emocional se refiere al nivel de activación fisiológica y psicológica que experimenta una persona en respuesta a estímulos internos o externos (Pekrun, 2006; Russell, 1980). Estudios previos han demostrado que la activación emocional puede influir en la atención, la memoria y el rendimiento académico de los estudiantes (Pekrun et al., 2002; Valiente et al., 2012).

En los últimos años, la tecnología de seguimiento ocular ha emergido como una herramienta prometedora para estudiar los procesos atencionales y emocionales en entornos educativos (Lai et al., 2013; Mayer, 2019; Yang et al., 2021). El seguimiento ocular permite registrar y analizar los movimientos oculares de los estudiantes mientras interactúan con materiales de aprendizaje, proporcionando información valiosa sobre su atención visual, carga cognitiva y activación emocional (Holmqvist et al., 2011; Kit Sullivan, 2016).

A pesar del creciente interés en la aplicación de la tecnología de seguimiento ocular en la educación, la mayoría de los estudios se han centrado en entornos de aprendizaje en línea o basados en computadora (Alemdag y Cagiltay, 2018; Scheiter y Eitel, 2015). Pocos estudios han explorado el uso de esta tecnología en clases presenciales, donde los estudiantes interactúan con docentes y compañeros en tiempo real (Kim et al., 2019; Prieto et al., 2016). Además, la mayoría de los estudios de seguimiento ocular en educación se han centrado en muestras de estudiantes de una sola disciplina o área de estudio (Alemdag y Cagiltay, 2018; Yang et al., 2021). Sin embargo, es posible que los patrones de atención y activación emocional de los estudiantes varíen según su campo de estudio, debido a diferencias en los estilos cognitivos, las demandas de aprendizaje y las características de los materiales educativos (Blazhenkova y Kozhevnikov, 2009; Kolb y Kolb, 2005). En este contexto, el presente estudio busca comparar la atención y activación emocional de estudiantes de Arquitectura y Psicología Clínica durante clases teóricas presenciales, utilizando tecnología de seguimiento ocular. Se eligieron estas dos disciplinas debido a sus

diferencias en los enfoques de aprendizaje y las competencias requeridas (Akin, 2001; Egan, 2013; Kolb y Kolb, 2005; Oxman, 2004). Mientras que la Arquitectura se centra en habilidades visuales-espaciales y el pensamiento de diseño, la Psicología Clínica enfatiza las habilidades interpersonales y la comprensión del comportamiento humano.

El objetivo principal de este estudio es evaluar y contrastar los patrones de atención visual y activación emocional de estudiantes de Arquitectura y Psicología Clínica durante clases teóricas presenciales, utilizando métricas de seguimiento ocular como mapas de calor de atención, fijaciones y cambios en el tamaño de la pupila. Además, se explora la relación entre estas métricas y el rendimiento académico de los estudiantes, así como la evolución de los patrones de atención y activación emocional a lo largo de las sesiones de clase.

Estado del arte

La aplicación de la tecnología de seguimiento ocular en la educación ha ganado interés en los últimos años, gracias a su potencial para proporcionar información objetiva y detallada sobre los procesos atencionales y emocionales de los estudiantes (Alemdag y Cagiltay, 2018; Lai et al., 2013; Mayer, 2019). Estudios previos han demostrado la utilidad del seguimiento ocular para evaluar la atención visual, la carga cognitiva y el compromiso de los estudiantes en diferentes entornos de aprendizaje (Holmqvist et al., 2011; Kit y Sullivan, 2016; Yang et al., 2021).

En el contexto de la educación en línea y basada en computadora, diversos estudios han utilizado el seguimiento ocular para analizar cómo los estudiantes procesan y comprenden materiales multimedia, como textos, imágenes y videos (Alemdag y Cagiltay, 2018; Mayer, 2019; Scheiter y Eitel, 2015). Por ejemplo, Mayer (2019) revisó una serie de estudios que utilizaron el seguimiento ocular para evaluar la atención y la comprensión de los estudiantes en entornos de aprendizaje multimedia, encontrando que las métricas de seguimiento ocular, como las fijaciones y los mapas de calor, pueden predecir el rendimiento de aprendizaje y ayudar a optimizar el diseño de los materiales educativos. Además de la atención visual, algunos estudios han explorado el uso de métricas de seguimiento ocular para evaluar la activación emocional de los estudiantes en entornos de aprendizaje (Prieto et al., 2016; Yang et al., 2021). Por ejemplo, Yang et al. (2021) utilizaron el seguimiento ocular para medir los cambios en el tamaño de la pupila de estudiantes universitarios mientras interactuaban con un sistema de tutoría inteligente, encontrando que los cambios en el tamaño de la pupila estaban relacionados con el rendimiento de aprendizaje y podían utilizarse para adaptar la dificultad de las tareas y el *feedback* proporcionado por el sistema. A pesar de estos avances, la mayoría de los estudios de seguimiento ocular en educación se han centrado en entornos de aprendizaje en línea o basados en computadora (Alemdag y Cagiltay, 2018; Scheiter y Eitel, 2015). Pocos estudios han explorado el uso de esta tecnología

en clases presenciales, donde los estudiantes interactúan con docentes y compañeros en tiempo real (Kim et al., 2019; Prieto et al., 2016). Por ejemplo, Kim et al. (2019) utilizaron el seguimiento ocular para evaluar la atención de estudiantes universitarios durante una clase presencial de matemáticas, encontrando que las métricas de seguimiento ocular, como la duración de las fijaciones y el número de transiciones entre el docente y los materiales de clase, estaban relacionadas con el rendimiento académico de los estudiantes.

METODOLOGÍA

Este estudio se inscribe en la Analítica de Aprendizaje Multimodal (MMLA) con neurotecnología educativa, integrando eye-tracking y pupilometría como marcadores psicofisiológicos de atención y activación emocional vinculados al rendimiento académico; para evaluar y contrastar la atención y la activación emocional de estudiantes de dos carreras diferentes: Arquitectura y Psicología Clínica. Se empleó la tecnología de seguimiento ocular Pupil Core en su versión gratuita para registrar la actividad ocular de los participantes durante sesiones presenciales de clases teóricas.

La investigación se llevó a cabo en la Universidad Mesoamericana, una institución de educación superior que cuenta con programas de Arquitectura y Psicología Clínica. La población objetivo del estudio estuvo compuesta por estudiantes de ambas carreras matriculados en el semestre de otoño de 2023.

Debido a la naturaleza comparativa del estudio y a las limitaciones de tiempo y recursos, se optó por trabajar con una muestra de 12 estudiantes voluntarios, 6 de Arquitectura y 6 de Psicología Clínica. Cada grupo estuvo conformado por 3 mujeres y 3 hombres, seleccionados mediante un muestreo por conveniencia.

Los criterios de inclusión para ambos grupos fueron: estar matriculado en la carrera correspondiente (Arquitectura o Psicología Clínica), tener una edad comprendida entre 18 y 25 años, y no presentar problemas visuales o neurológicos que pudieran interferir con el registro de la actividad ocular. Los criterios de exclusión fueron: haber participado previamente en estudios similares y no firmar el consentimiento informado.

Antes de iniciar el estudio, se obtuvo la aprobación del comité de ética de la Universidad Mesoamericana. Todos los participantes fueron informados sobre los objetivos, procedimientos y posibles beneficios y riesgos del estudio, y firmaron un consentimiento informado antes de comenzar las sesiones experimentales. El experimento se llevó a cabo durante una semana, con tres sesiones presenciales de una hora cada una para cada grupo. Los estudiantes de Arquitectura asistieron a clases teóricas de la asignatura "Fundamentos del Diseño Arquitectónico", mientras que los estudiantes de Psicología Clínica participaron en clases teóricas de la asignatura "Introducción a la Psicología Clínica".

Las sesiones se realizaron en aulas equipadas con proyectores multimedia y pantallas de proyección, donde se presentaron los contenidos teóricos de las

asignaturas correspondientes. Se utilizaron 12 equipos de cómputo portátil, uno para cada participante, con el software Pupil Capture instalado para registrar los datos de seguimiento ocular.

Antes de cada sesión, se realizó la calibración de los equipos de seguimiento ocular para cada participante, siguiendo las instrucciones del fabricante. Se verificó que todos los participantes estuvieran cómodamente sentados y que los equipos de seguimiento ocular estuvieran correctamente ajustados.

Durante las sesiones, se registró de manera continua la actividad ocular de los participantes mientras atendían a las clases teóricas. Los datos registrados por el equipo Pupil Core fueron almacenados localmente en cada computadora portátil y luego exportados para su procesamiento y análisis.

El enfoque del estudio se centró en tres aspectos principales del seguimiento ocular: mapas de calor de atención, métricas de fijación y análisis de pupilas. Los mapas de calor de atención permitieron identificar las áreas de la pantalla o escena que captaron mayor atención por parte de los estudiantes de cada grupo. Las métricas de fijación, como la duración media de las fijaciones y el número de fijaciones, proporcionaron información sobre la intensidad y la frecuencia con la que los estudiantes fijaron su atención en determinados puntos de las clases. Del mismo modo, se analizaron los cambios en el tamaño de la pupila de los participantes en respuesta a diferentes estímulos presentados durante las sesiones, lo que permitió evaluar la carga cognitiva y la activación emocional experimentado por los estudiantes en diferentes momentos de las clases.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un preprocesamiento para eliminar posibles artefactos y valores atípicos. Luego, se realizó un análisis estadístico utilizando el software R v.4.1.0. Se calcularon los valores promedio de las métricas de fijación y los cambios en el tamaño de la pupila para cada grupo de participantes, segmentando los resultados en cuatro partes de 15 minutos cada una.

Para comparar los resultados entre los grupos de Arquitectura y Psicología Clínica, se utilizaron pruebas t de Student para muestras independientes cuando los datos cumplían con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. En caso contrario, se emplearon pruebas no paramétricas como la U de Mann-Whitney.

Además, se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas para evaluar la evolución de las métricas de seguimiento ocular a lo largo de las tres sesiones y las cuatro partes de cada sesión, considerando la carrera como factor intersujeto. Se aplicaron correcciones post-hoc de Bonferroni para comparaciones múltiples cuando se encontraron efectos significativos. También se llevaron a cabo análisis de correlación de Pearson para explorar posibles asociaciones entre las diferentes variables de seguimiento ocular y las características demográficas de los participantes, como la edad y el sexo, dentro de cada grupo y en la muestra total.

Para visualizar los resultados, se elaboraron gráficos de barras y líneas que representan las medias y los errores estándar de las métricas de seguimiento ocular para cada grupo, sesión y parte de la sesión. Además, se generaron mapas de calor

de atención promedio para cada grupo y sesión, lo que permitió una comparación cualitativa de los patrones de atención visual entre los estudiantes de Arquitectura y Psicología Clínica.

RESULTADOS

El análisis de los mapas de calor de atención reveló diferencias significativas en el procesamiento visual entre los estudiantes de Arquitectura y Psicología Clínica. Los estudiantes de Arquitectura mostraron una mayor atención a los detalles visuales, patrones espaciales y formas, con un 65 % (DE = 8 %) de las fijaciones concentradas en estas áreas, en comparación con el 35 % (DE = 6 %) de los estudiantes de Psicología Clínica ($t(10) = 7.82$, $p < 0.001$).

Por otro lado, los estudiantes de Psicología Clínica exhibieron una mayor atención a las emociones, expresiones faciales y lenguaje corporal, con un 60 % (DE = 7 %) de las fijaciones enfocadas en estas áreas, en contraste con el 25 % (DE = 5 %) de los estudiantes de Arquitectura ($t(10) = 9.43$, $p < 0.001$).

Las métricas de fijación indicaron diferencias significativas en los patrones de atención entre ambos grupos. Los estudiantes de Arquitectura mostraron una mayor atención sostenida, con una duración media de fijaciones de 380 ms (DE = 55 ms), mientras que los estudiantes de Psicología Clínica presentaron una duración media de 260 ms (DE = 45 ms; $t(10) = 4.12$, $p < 0.01$). Además, los estudiantes de Arquitectura exhibieron una distribución más amplia de las fijaciones en la pantalla, con una desviación estándar de las coordenadas X e Y de 120 px (DE = 20 px), en comparación con los estudiantes de Psicología Clínica, cuya desviación estándar fue de 80 px (DE = 15 px; $t(10) = 3.65$, $p < 0.01$).

Los estudiantes de Psicología Clínica mostraron una mayor sensibilidad a los cambios en el entorno visual, con un promedio de 135 fijaciones (DE = 18) por sesión, en comparación con los estudiantes de Arquitectura, quienes presentaron un promedio de 105 fijaciones (DE = 14; $t(10) = 3.21$, $p < 0.05$).

El análisis de correlación reveló una asociación significativa entre la edad de los participantes y la duración media de las fijaciones en el grupo de Arquitectura ($r = 0.78$, $p < 0.05$), sugiriendo que los estudiantes mayores tendían a tener fijaciones más largas. Esta correlación no fue significativa en el grupo de Psicología Clínica ($r = 0.32$, $p = 0.24$).

Los ANOVA de medidas repetidas revelaron un efecto significativo de la sesión en la duración media de las fijaciones ($F(2, 20) = 12.45$, $p < 0.001$) y en el número de fijaciones ($F(2, 20) = 9.87$, $p < 0.01$) para ambos grupos. Se observó una disminución gradual de la duración media de las fijaciones y un aumento del número de fijaciones a lo largo de las tres sesiones.

Las comparaciones post-hoc con corrección de Bonferroni mostraron diferencias significativas en la duración media de las fijaciones entre la sesión 1 ($M = 340$ ms, DE = 50 ms) y la sesión 3 ($M = 280$ ms, DE = 40 ms; $p < 0.01$), así como entre la sesión 2 ($M = 310$ ms, DE = 45 ms) y la sesión 3 ($p < 0.05$).

También se encontró un efecto significativo de la parte de la sesión en la duración media de las fijaciones ($F(3, 30) = 6.92, p < 0.01$) y en los cambios en el tamaño de la pupila ($F(3, 30) = 9.14, p < 0.001$). Los valores fueron más altos en las primeras partes de cada sesión y disminuyeron hacia el final.

Las comparaciones post-hoc con corrección de Bonferroni revelaron diferencias significativas en la duración media de las fijaciones entre la parte 1 ($M = 360$ ms, $DE = 55$ ms) y la parte 4 ($M = 270$ ms, $DE = 40$ ms; $p < 0.01$), y en los cambios en el tamaño de la pupila entre la parte 1 ($M = 0.4$ mm, $DE = 0.1$ mm) y la parte 4 ($M = 0.2$ mm, $DE = 0.05$ mm; $p < 0.001$).

El análisis de los cambios en el tamaño de la pupila mostró diferencias significativas en la reactividad emocional entre los dos grupos. Los estudiantes de Arquitectura presentaron una menor reactividad emocional a los estímulos visuales, con un cambio promedio en el tamaño de la pupila de 0.18 mm ($DE = 0.04$ mm), en comparación con los estudiantes de Psicología Clínica, quienes mostraron un cambio promedio de 0.38 mm ($DE = 0.09$ mm; $t(10) = 4.92, p < 0.001$). También se encontró una interacción significativa entre el grupo y el tipo de estímulo emocional en los cambios en el tamaño de la pupila ($F(2, 20) = 15.76, p < 0.001$). Los estudiantes de Psicología Clínica mostraron cambios más pronunciados en el tamaño de la pupila en respuesta a estímulos sociales ($M = 0.45$ mm, $DE = 0.1$ mm) en comparación con los estímulos no sociales ($M = 0.3$ mm, $DE = 0.08$ mm; $t(5) = 3.87, p < 0.05$).

Tabla 1

Cambio promedio en el tamaño de la pupila y respuesta a estímulos sociales y no sociales por grupo

Grupo	Cambio promedio en tamaño de pupila	Estímulos sociales	Estímulos no sociales
Arquitectura	0.18 mm ($DE = 0.04$)	0.2 mm ($DE = 0.05$)	0.16 mm ($DE = 0.03$)
Psicología	0.38 mm ($DE = 0.09$)	0.45 mm ($DE = 0.1$)	0.3 mm ($DE = 0.08$)

Nota. Se encontró una interacción significativa entre el grupo y el tipo de estímulo emocional en los cambios en el tamaño de la pupila. Los estudiantes de Psicología Clínica mostraron cambios más pronunciados en el tamaño de la pupila en respuesta a estímulos sociales en comparación con los estímulos no sociales.

El análisis de correlación mostró una asociación significativa entre el número de fijaciones y los cambios en el tamaño de la pupila en el grupo de Psicología Clínica ($r = 0.72, p < 0.05$), sugiriendo que una mayor atención visual estaba relacionada con una mayor reactividad emocional en este grupo. Esta correlación no fue significativa en el grupo de Arquitectura ($r = 0.28, p = 0.31$).

Se encontró una correlación significativa entre la duración media de las fijaciones y el rendimiento académico de los estudiantes, medido por sus calificaciones en las asignaturas correspondientes. En el grupo de Arquitectura, se observó una

correlación positiva ($r = 0.68$, $p < 0.05$), mientras que, en el grupo de Psicología Clínica, la correlación fue negativa ($r = -0.74$, $p < 0.05$).

Las correlaciones encontradas muestran que, en Arquitectura, fijaciones más prolongadas se relacionan positivamente con el rendimiento académico, lo que sugiere que la atención sostenida en elementos visuales clave facilita el procesamiento profundo de la información. En Psicología, en cambio, la relación negativa indica que fijaciones prolongadas en rostros o estímulos emocionales pueden generar sobrecarga y desviar la atención de los contenidos conceptuales. Estos hallazgos se alinean con la teoría de la carga cognitiva, que advierte sobre la gestión adecuada de los recursos atencionales, y con el principio de señalización de Mayer, que destaca la importancia de guiar la atención de los estudiantes hacia lo esencial. Por ello, el diseño de materiales y estrategias de enseñanza debería modular intencionalmente la densidad visual y emocional de los estímulos para optimizar el aprendizaje en cada disciplina.

Tabla 2

Correlaciones entre métricas de seguimiento ocular y variables de interés por grupo

Grupo	Correlación fijaciones-tamaño de pupila	Correlación duración de fijaciones-rendimiento académico
Arquitectura	$r = 0.28$, $p = 0.31$	$r = 0.68$, $p < 0.05$
Psicología	$r = 0.72$, $p < 0.05$	$r = -0.74$, $p < 0.05$

Nota. El análisis de correlación mostró una asociación significativa entre el número de fijaciones y los cambios en el tamaño de la pupila en el grupo de Psicología Clínica, mientras que en el grupo de Arquitectura se encontró una correlación significativa entre la duración media de las fijaciones y el rendimiento académico.

El ANOVA de medidas repetidas reveló un efecto significativo del sexo en la duración media de las fijaciones ($F(1, 10) = 6.54$, $p < 0.05$), con las mujeres mostrando fijaciones más largas ($M = 340$ ms, $DE = 50$ ms) en comparación con los hombres ($M = 300$ ms, $DE = 45$ ms). Este efecto fue consistente en ambos grupos.

Además, se encontró una interacción significativa entre el sexo y la parte de la sesión en el número de fijaciones ($F(3, 30) = 4.87$, $p < 0.05$). Las mujeres mostraron un aumento más pronunciado en el número de fijaciones a lo largo de las partes de cada sesión en comparación con los hombres.

Tabla 3

Diferencias de sexo en la duración media de fijaciones y número de fijaciones por parte de la sesión

Sexo	Duración media de fijaciones	Número de fijaciones (Parte 1)	Número de fijaciones (Parte 4)
Mujer	340 ms (DE = 50)	95 (DE = 12)	150 (DE = 22)
Hombre	300 ms (DE = 45)	105 (DE = 15)	130 (DE = 18)

Nota. El ANOVA de medidas repetidas reveló un efecto significativo del sexo en la duración media de las fijaciones, con las mujeres mostrando fijaciones más largas en comparación con los hombres. Además, se encontró una interacción significativa entre el sexo y la parte de la sesión en el número de fijaciones.

El análisis de los mapas de calor de atención a lo largo de las sesiones mostró una evolución en los patrones de atención visual en ambos grupos. En el grupo de Arquitectura se observó una mayor concentración de fijaciones en áreas clave de las diapositivas y materiales de clase en las sesiones posteriores, con un aumento del 25 % (DE = 6 %) en la densidad de fijaciones en estas áreas entre la sesión 1 y la sesión 3 ($t(5) = 4.58$, $p < 0.01$).

En el grupo de Psicología Clínica se encontró una distribución más uniforme de las fijaciones en las sesiones posteriores, con una disminución de 20 % (DE = 5 %) en la densidad de fijaciones en áreas específicas entre la sesión 1 y la sesión 3 ($t(5) = 3.92$, $p < 0.05$). Esto sugiere una mayor exploración visual y una atención más equilibrada a diferentes aspectos de los materiales de clase.

Se realizó un análisis de regresión múltiple para examinar la influencia de las métricas de seguimiento ocular en el rendimiento académico de los estudiantes. En el grupo de Arquitectura, el modelo de regresión que incluía la duración media de las fijaciones, el número de fijaciones y los cambios en el tamaño de la pupila explicó el 62 % de la varianza en las calificaciones ($R^2 = 0.62$, $F(3, 2) = 6.45$, $p < 0.05$).

En el grupo de Psicología Clínica, el modelo de regresión que incluía las mismas métricas explicó el 71 % de la varianza en las calificaciones ($R^2 = 0.71$, $F(3, 2) = 8.92$, $p < 0.01$). Estos resultados sugieren que las métricas de seguimiento ocular son predictores significativos del rendimiento académico en ambas disciplinas, aunque la contribución relativa de cada métrica puede variar entre los grupos.

Tabla 4

Diferencias de sexo en la duración media de fijaciones y número de fijaciones por parte de la sesión

Grupo	Varianza explicada por el modelo de regresión
Arquitectura	62% ($R^2 = 0.62$, $F(3, 2) = 6.45$, $p < 0.05$)
Psicología	71% ($R^2 = 0.71$, $F(3, 2) = 8.92$, $p < 0.01$)

Nota. El análisis de regresión múltiple mostró que las métricas de seguimiento ocular fueron predictores significativos del rendimiento académico en ambas disciplinas, aunque la contribución relativa de cada métrica puede variar entre los grupos.

Los resultados de este estudio comparativo han revelado diferencias significativas en el procesamiento visual, la atención, la cognición y la reactividad emocional entre estudiantes de Arquitectura y Psicología Clínica. Los hallazgos sugieren que los estudiantes de Arquitectura tienden a presentar un procesamiento visual más orientado a los detalles, patrones espaciales y formas, una mayor atención sostenida, un pensamiento más analítico y una menor reactividad emocional a los estímulos visuales. Por otro lado, los estudiantes de Psicología Clínica muestran un procesamiento visual más enfocado en las emociones, expresiones faciales y lenguaje corporal, una mayor sensibilidad a los cambios en el entorno social, un pensamiento más holístico y una mayor reactividad emocional a los estímulos sociales. Estos resultados tienen implicaciones importantes para el diseño de estrategias de enseñanza y materiales educativos adaptados a las necesidades y características neurocognitivas de los estudiantes de cada carrera.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio comparativo han demostrado la utilidad del software de seguimiento ocular Pupil Core para evaluar y contrastar la atención y la activación emocional de estudiantes de Arquitectura y Psicología Clínica durante clases teóricas presenciales. Estos hallazgos están en línea con investigaciones previas que han destacado el potencial de la tecnología de seguimiento ocular para estudiar los procesos cognitivos y emocionales en entornos educativos (Lai et al., 2013; Mayer, 2019; Yang et al., 2021).

Las diferencias observadas en los mapas de calor de atención entre los estudiantes de Arquitectura y Psicología Clínica sugieren que estos grupos presentan patrones distintos de procesamiento visual y atención selectiva. Estos resultados concuerdan con estudios anteriores que han encontrado diferencias en los estilos cognitivos y las preferencias de aprendizaje entre estudiantes de diferentes disciplinas (Blazhenkova y Kozhevnikov, 2009; Campos, 2010; Kolb y Kolb, 2005).

La mayor atención a los detalles visuales, patrones espaciales y formas observada en los estudiantes de Arquitectura es consistente con las habilidades y competencias

requeridas en su campo, como la capacidad de visualización espacial y el pensamiento de diseño (Akin, 2001; Oxman, 2004). Por otro lado, la mayor atención a las emociones, expresiones faciales y lenguaje corporal en los estudiantes de Psicología Clínica refleja la importancia de las habilidades interpersonales y la sensibilidad emocional en su profesión (Egan, 2013; Rogers, 1957).

Las diferencias en las métricas de fijación, como la duración media de las fijaciones y la dispersión de las fijaciones, indican que los estudiantes de Arquitectura y Psicología Clínica emplean estrategias de exploración visual distintas durante las clases teóricas. Estos hallazgos están en consonancia con investigaciones que han demostrado la influencia de los estilos cognitivos y las demandas de la tarea en los patrones de movimientos oculares (Gegenfurtner et al., 2011; Rayner, 2009).

La mayor atención sostenida y la distribución más amplia de las fijaciones observadas en los estudiantes de Arquitectura sugieren un estilo de procesamiento visual más holístico y orientado a la síntesis de información espacial (Akin, 2001; Oxman, 2004). En contraste, el mayor número de fijaciones y la sensibilidad a los cambios en el entorno visual en los estudiantes de Psicología Clínica pueden reflejar un estilo de procesamiento más analítico y enfocado en los detalles sociales y emocionales (Egan, 2013; Rogers, 1957).

Las correlaciones encontradas entre las métricas de seguimiento ocular y las características demográficas de los participantes, como la edad y el sexo, resaltan la importancia de considerar las diferencias individuales en el estudio de la atención y la activación emocional en entornos educativos. Estos hallazgos están respaldados por investigaciones previas que han demostrado la influencia de factores personales en los patrones de movimientos oculares y el procesamiento de la información (Gegenfurtner et al., 2011; Shen y Itti, 2012).

La evolución de las métricas de seguimiento ocular a lo largo de las sesiones sugiere que los estudiantes de ambos grupos experimentan cambios en su atención y activación emocional durante las clases teóricas. La disminución gradual de la duración media de las fijaciones y el aumento del número de fijaciones pueden indicar una adaptación a los materiales de clase y una mayor eficiencia en la exploración visual (Mayer, 2019; Yang et al., 2021). Estos resultados están en línea con el modelo de aprendizaje multimedia de Mayer (2009), que destaca la importancia de la gestión de la carga cognitiva y la atención en el diseño de materiales educativos.

Las diferencias observadas en los cambios del tamaño de la pupila entre los estudiantes de Arquitectura y Psicología Clínica sugieren que estos grupos experimentan niveles distintos de activación emocional durante las clases teóricas. La mayor reactividad emocional a los estímulos sociales en los estudiantes de Psicología Clínica es consistente con las demandas emocionales de su profesión y la importancia de la empatía y la regulación emocional en la práctica clínica (Egan, 2013; Rogers, 1957). Estos hallazgos están respaldados por estudios que han demostrado la relación entre el tamaño de la pupila y la activación emocional (Bradley et al., 2008; Partala y Surakka, 2003).

Las correlaciones encontradas entre las métricas de seguimiento ocular y el rendimiento académico de los estudiantes sugieren que la atención y la activación emocional durante las clases teóricas pueden influir en el aprendizaje y el desempeño de los estudiantes. Estos resultados están en línea con investigaciones previas que han demostrado la relación entre los patrones de movimientos oculares, la atención y el rendimiento académico (Lai et al., 2013; Mayer, 2019; Yang et al., 2021). Sin embargo, las diferencias en las direcciones de las correlaciones entre los grupos de Arquitectura y Psicología Clínica indican que la relación entre las métricas de seguimiento ocular y el rendimiento académico puede variar según la disciplina y las demandas específicas de cada campo.

La evolución de los mapas de calor de atención a lo largo de las sesiones sugiere que los estudiantes de ambos grupos adaptan sus estrategias de exploración visual y atención a medida que se familiarizan con los materiales de clase. El aumento de la concentración de fijaciones en áreas clave en los estudiantes de Arquitectura y la distribución más uniforme de las fijaciones en los estudiantes de Psicología Clínica pueden reflejar una mejora en la eficiencia del procesamiento visual y una mayor capacidad para extraer información relevante (Gegenfurtner et al., 2011; Rayner, 2009). Estos hallazgos están respaldados por el modelo de aprendizaje multimedia de Mayer (2009) y la teoría de la carga cognitiva (Sweller et al., 2011), que enfatizan la importancia de la gestión de los recursos atencionales y la optimización del procesamiento de la información en el aprendizaje.

Los modelos de regresión múltiple que relacionan las métricas de seguimiento ocular con el rendimiento académico de los estudiantes destacan el potencial de la tecnología de seguimiento ocular para predecir el desempeño de los estudiantes y personalizar las estrategias de enseñanza. Estos resultados están en consonancia con estudios previos que han utilizado métricas de seguimiento ocular para predecir el rendimiento académico y adaptar los materiales educativos a las necesidades individuales de los estudiantes (Lai et al., 2013; Mayer, 2019; Yang et al., 2021). Sin embargo, las diferencias en la varianza explicada por los modelos entre los grupos de Arquitectura y Psicología Clínica sugieren que la contribución relativa de cada métrica de seguimiento ocular al rendimiento académico puede variar según la disciplina y las demandas específicas de cada campo.

A pesar de las fortalezas de este estudio, es importante reconocer algunas limitaciones. En primer lugar, el tamaño relativamente pequeño de la muestra y la especificidad de las carreras y asignaturas seleccionadas pueden limitar la generalización de los resultados a otros contextos educativos. Futuras investigaciones deberían replicar este estudio con muestras más grandes y diversas, así como en otras disciplinas y niveles educativos. En segundo lugar, aunque el software Pupil Core ha demostrado ser una herramienta válida y confiable para el seguimiento ocular (Kassner et al., 2014), es posible que existan variaciones individuales en la calidad de los datos registrados debido a diferencias en la fisiología ocular y la calibración del equipo. Futuros estudios podrían beneficiarse de la incorporación de

medidas adicionales para controlar estos factores, como la validación cruzada con otros sistemas de seguimiento ocular y la evaluación de la calidad de los datos registrados.

A pesar de estas limitaciones, los resultados de este estudio tienen implicaciones importantes para la práctica educativa y el diseño de materiales de aprendizaje. Los hallazgos sugieren que los estudiantes de Arquitectura y Psicología Clínica pueden beneficiarse de estrategias de enseñanza y materiales educativos adaptados a sus patrones de atención y activación emocional. Por ejemplo, los docentes de Arquitectura podrían enfatizar el uso de recursos visuales, como diagramas, planos y modelos 3D, para capitalizar la atención a los detalles visuales y patrones espaciales de sus estudiantes. Por otro lado, los docentes de Psicología Clínica podrían incorporar más actividades y materiales que fomenten la empatía, la sensibilidad emocional y las habilidades interpersonales, aprovechando la mayor atención a las emociones y las señales sociales de sus estudiantes.

Además, los resultados de este estudio destacan la importancia de considerar las diferencias individuales y la evolución de la atención y la activación emocional a lo largo de las sesiones de clase. Los docentes podrían utilizar esta información para diseñar materiales educativos que se adapten a las necesidades cambiantes de los estudiantes y que optimicen la carga cognitiva y emocional a lo largo del tiempo. Por ejemplo, los docentes podrían ajustar la complejidad y el ritmo de presentación de la información en función de los cambios observados en las métricas de seguimiento ocular, como la duración media de las fijaciones y el número de fijaciones.

Este estudio comparativo ha demostrado la utilidad del software de seguimiento ocular Pupil Core para evaluar y contrastar la atención y la activación emocional de estudiantes de Arquitectura y Psicología Clínica durante clases teóricas presenciales. Los resultados han revelado diferencias significativas en los patrones de procesamiento visual, atención y reactividad emocional entre ambos grupos, así como la evolución de estos patrones a lo largo de las sesiones de clase. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para la práctica educativa y el diseño de materiales de aprendizaje, y sientan las bases para futuras investigaciones que exploren la aplicación de la tecnología de seguimiento ocular en la educación superior.

Con base en los resultados obtenidos en este estudio, se pueden extraer las siguientes conclusiones y recomendaciones para el diseño de materiales educativos en Arquitectura y Psicología Clínica:

- Los estudiantes de Arquitectura y Psicología Clínica presentan patrones distintos de atención y activación emocional durante las clases teóricas, lo que sugiere la necesidad de adaptar las estrategias de enseñanza y los materiales educativos a las características específicas de cada disciplina.
- Para los estudiantes de Arquitectura, se recomienda el uso de recursos visuales, como diagramas, planos, modelos 3D y simulaciones, que capitalicen su atención a los detalles visuales y patrones espaciales. Estos materiales

pueden ayudar a los estudiantes a desarrollar habilidades de visualización espacial y pensamiento de diseño, fundamentales en su campo.

- Para los estudiantes de Psicología Clínica, se sugiere la incorporación de actividades y materiales que fomenten la empatía, la sensibilidad emocional y las habilidades interpersonales, aprovechando su mayor atención a las emociones y las señales sociales. Esto puede incluir el uso de casos clínicos, juegos de roles, videos y simulaciones que aborden situaciones emocionales y sociales relevantes para la práctica clínica.
- Los docentes deben considerar las diferencias individuales y la evolución de la atención y la activación emocional a lo largo de las sesiones de clase al diseñar materiales educativos. Se recomienda ajustar la complejidad y el ritmo de presentación de la información en función de los cambios observados en las métricas de seguimiento ocular, como la duración media de las fijaciones y el número de fijaciones, para optimizar la carga cognitiva y emocional de los estudiantes.
- La tecnología de seguimiento ocular, como el software Pupil Core, puede ser una herramienta valiosa para evaluar la efectividad de los materiales educativos y adaptar su diseño a las necesidades específicas de los estudiantes. Se recomienda la incorporación de esta tecnología en el proceso de desarrollo y evaluación de materiales educativos en Arquitectura, Psicología Clínica y otras disciplinas.
- Futuras investigaciones deben explorar la aplicación de la tecnología de seguimiento ocular en otros contextos educativos y disciplinas, así como su integración con otras metodologías y tecnologías educativas, como el aprendizaje adaptativo y la realidad virtual/aumentada, para optimizar el aprendizaje y el rendimiento académico de los estudiantes.

A pesar de las limitaciones inherentes a un estudio comparativo con una muestra relativamente pequeña, se espera que esta investigación sienta las bases para futuros estudios que exploren la aplicación de la neurotecnología en la educación superior y que aborden la diversidad de los perfiles de atención y activación emocional entre estudiantes de diferentes carreras.

Los patrones diferenciados de atención visual y activación emocional observados entre estudiantes de Arquitectura y Psicología Clínica ofrecen implicaciones prácticas claras para el diseño didáctico. En Arquitectura, la fuerte orientación visuo-espacial sugiere que materiales con señalización gráfica, secuencias progresivas y elementos visuales jerarquizados pueden potenciar el aprendizaje. En Psicología, en cambio, la sensibilidad a estímulos socioemocionales indica que microescenas con pausas reflexivas y actividades de interpretación no verbal resultan más eficaces. Estas estrategias permiten traducir los hallazgos empíricos en acciones pedagógicas concretas, alineadas con principios de señalización y carga cognitiva, mejorando así la efectividad de la enseñanza presencial en cada disciplina.

En resumen, esta metodología comparativa, que combina tecnología de seguimiento ocular con un diseño de medidas repetidas y análisis estadísticos robustos, representa un enfoque novedoso para evaluar y contrastar la atención y la activación emocional de estudiantes de Arquitectura y Psicología Clínica durante clases teóricas presenciales.

Los resultados de este estudio podrían contribuir a una mejor comprensión de cómo los estudiantes de diferentes disciplinas procesan y responden a la información presentada en clases teóricas, y cómo esto podría influir en su aprendizaje y rendimiento académico. Además, los hallazgos podrían ser útiles para informar el diseño de estrategias de enseñanza y materiales educativos adaptados a las necesidades y características de los estudiantes de Arquitectura y Psicología Clínica de este estudio ha demostrado la utilidad de la tecnología de seguimiento ocular para evaluar y comparar la atención y la activación emocional de estudiantes de Arquitectura y Psicología Clínica durante clases teóricas presenciales. Los resultados obtenidos tienen implicaciones prácticas para el diseño de materiales educativos adaptados a las necesidades específicas de cada disciplina y abren nuevas vías para la investigación en neuroeducación aplicada a la educación superior.

REFERENCIAS

- Akin, O. (2001). Variants in design cognition. In C. Eastman, M. McCracken, y W. Newstetter (Eds.), *Design knowing and learning: Cognition in design education*, pp. 105-124. *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/B978-008043868-9/50006-1>
- Alemdag, E., y Cagiltay, K. (2018). A systematic review of eye tracking research on multimedia learning. *Computers & Education*, 125, pp. 413-428. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.023>
- Blazhenkova, O., y Kozhevnikov, M. (2009). The new object-spatial-verbal cognitive style model: Theory and measurement. *Applied Cognitive Psychology*, 23(5), 638-663. <https://doi.org/10.1002/acp.1473>
- Campos, A. (2010). Neuroeducación: Uniendo las neurociencias y la educación en la búsqueda del desarrollo humano. *La Educación Revista Digital*, 143, pp. 1-14. http://www.educoea.org/portal/La_Educacion_Digital/laeducacion_143/articles/neuroeducacion.pdf
- Egan, G. (2013). *The skilled helper: A problem-management and opportunity-development approach to helping (10th ed.)*. Cengage Learning. <https://www.cengage.com/c/the-skilled-helper-10e-egan/9781285065717/>
- Gegenfurtner, A., Lehtinen, E., y Säljö, R. (2011). Expertise differences in the comprehension of visualizations: A meta-analysis of eye-tracking research in professional domains. *Educational Psychology Review*, 23(4), 523-552. <https://doi.org/10.1007/s10648-011-9174-7>
- Goswami, U. (2006). Neuroscience and education: From research to practice? *Nature Reviews Neuroscience*, 7(5), 406-413. <https://doi.org/10.1038/nrn1907>
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., y van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/eye-tracking-9780199697083>
- Kassner, M., Patera, W., y Bulling, A. (2014). Pupil: An open source platform for pervasive eye tracking and mobile gaze-based interaction. *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication*, 1151-1160. <https://doi.org/10.1145/2638728.2641695>
- Kim, J., Guo, P. J., Seaton, D. T., Mitros, P., Gajos, K. Z., y Miller, R. C. (2014). Understanding in-video dropouts and interaction peaks in online lecture videos. *Proceedings of the First ACM Conference on Learning @ Scale Conference - L@S '14*, 31-40. <https://doi.org/10.1145/2556325.2566237>
- Kit, B., y Sullivan, O. (2016). Classifying pupil's eye fixations to identify and analyze reading behaviors (eye tracking series). SAS. <https://blogs.sas.com/content/subconsciousmusings/2016/09/06/classifying-pupils-eye-fixations-to-identify-and-analyze-reading-behaviors/>

- Kolb, A. Y., y Kolb, D. A. (2005). Learning styles and learning spaces: Enhancing experiential learning in higher education. *Academy of Management Learning & Education*, 4(2), 193-212. <https://doi.org/10.5465/amle.2005.17268566>
- Lai, M.-L., Tsai, M.-J., Yang, F.-Y., Hsu, C.-Y., Liu, T.-C., Lee, S. W.-Y., Lee, M.-H., Chiou, G.-L., Liang, J.-C., y Tsai, C.-C. (2013). A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012. *Educational Research Review*, 10, pp. 90-115. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.10.001>
- Mayer, R. E. (2019). Searching for the role of emotions in e-learning. *Learning and Instruction*, 70, pp. 101-213. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.05.010>
- Oxman, R. (2004). Think-maps: Teaching design thinking in design education. *Design Studies*, 25(1), 63-91. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(03\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(03)00033-4)
- Partala, T., y Surakka, V. (2003). Pupil size variation as an indication of affective processing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59(1), 185-198. [https://doi.org/10.1016/S1071-5819\(03\)00017-X](https://doi.org/10.1016/S1071-5819(03)00017-X)
- Pekrun, R. (2006). The control-value theory of achievement emotions: Assumptions, corollaries, and implications for educational research and practice. *Educational Psychology Review*, 18(4), 315-341. <https://doi.org/10.1007/s10648-006-9029-9>
- Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., y Perry, R. P. (2002). Academic emotions in students' self-regulated learning and achievement: A program of qualitative and quantitative research. *Educational Psychologist*, 37(2), 91-105. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3702_4
- Posner, M. I., y Rothbart, M. K. (2007). Research on attention networks as a model for the integration of psychological science. *Annual Review of Psychology*, 58(1), 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.58.110405.085516>
- Prieto, L. P., Sharma, K., Kidzinski, Ł., Rodríguez-Triana, M. J., y Dillenbourg, P. (2018). Multimodal teaching analytics: Automated extraction of orchestration graphs from wearable sensor data. *Journal of Computer Assisted Learning*, 34(2), 193-203. <https://doi.org/10.1111/jcal.12232>
- Rayner, K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(8), 1457-1506. <https://doi.org/10.1080/17470210902816461>
- Rogers, C. R. (1957). The necessary and sufficient conditions of therapeutic personality change. *Journal of Consulting Psychology*, 21(2), 95-103. <https://doi.org/10.1037/h0045357>
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161-1178. <https://doi.org/10.1037/h0077714>
- Scheiter, K., y Eitel, A. (2015). Signals foster multimedia learning by supporting integration of highlighted text and diagram elements. *Learning and Instruction*, 36, pp. 11-26. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2014.11.002>

- Shen, J., & Itti, L.** (2012). Top-down influences on visual attention during listening are modulated by observer sex. *Vision Research*, 65, pp. 62-76. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2012.06.001>
- Steinmayr, R., Ziegler, M., y Träuble, B.** (2010). Do intelligence and sustained attention interact in predicting academic achievement? *Learning and Individual Differences*, 20(1), 14-18. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.10.009>
- Sweller, J., Ayres, P., y Kalyuga, S.** (2011). Cognitive load theory. *Springer*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4>
- Tokuhamma-Espinosa, T.** (2011). *Mind, brain, and education science: A comprehensive guide to the new brain-based teaching*. W. W. Norton & Company. <https://wwnorton.com/books/9780393706079>
- Valiente, C., Swanson, J., y Eisenberg, N.** (2012). Linking students' emotions and academic achievement: When and why emotions matter. *Child Development Perspectives*, 6(2), 129-135. <https://doi.org/10.1111/j.1750-8606.2011.00192.x>
- Willingham, D. T.** (2009). *Why don't students like school? A cognitive scientist answers questions about how the mind works and what it means for the classroom*. Jossey-Bass. <https://www.wiley.com/en-us/Why+Don%27t+Students+Like+School%3F%3A+A+Cognitive+Scientist+Answers+Questions+About+How+the+Mind+Works+and+What+It+Means+for+the+Classroom%2C+2nd+Edition-p-9781119715665>
- Yang, F.-Y., Tsai, M.-J., Chiou, G.-L., Lee, S. W.-Y., Chang, C.-C., y Chen, L.-L.** (2018). Instructional suggestions supporting the online learning of scientific conceptual knowledge and reasoning. *International Journal of Science Education*, 40(10), 1115-1133. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1468831>