



UNIVERSIDAD A DISTANCIA DE MADRID

(UDIMA)

Facultad de Ciencias de la Salud y de la Educación

Departamento de Educación

*Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación Secundaria, Bachillerato,
Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas*

***NEUROARQUITECTURA EN ESPACIOS EDUCATIVOS: LA
INFLUENCIA DEL DISEÑO DE LAS AULAS EN LA ATENCIÓN DE LOS
ESTUDIANTES DE MATEMÁTICAS DE SECUNDARIA***

Ramón Campos Carceller

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Bajo la dirección de:

Clara Estrada Cuenca

MADRID

Junio 2024

RESUMEN

Diferentes estudios han demostrado a lo largo de los años que la exposición a los estímulos adecuados puede mejorar el comportamiento, la cognición, la memoria o la atención de las personas. Refiriéndonos de manera específica al proceso de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas, la atención tiene un rol fundamental ya que la adquisición de conocimientos matemáticos implica que los estudiantes deben llegar al razonamiento analítico, y es muy difícil conseguirlo sin una concentración adecuada. La influencia de los estímulos que mejoran la atención tratada desde el punto de vista de la neurociencia solo ha podido ser estudiada en profundidad en las últimas dos décadas gracias a las nuevas tecnologías disponibles. El objetivo principal de este Trabajo Fin de Máster (TFM) es analizar el impacto del diseño de las aulas en la atención de los estudiantes de secundaria de matemáticas desde el punto de vista de la neuroarquitectura. Para ello, se han revisado investigaciones recientes y se ha comprobado que el diseño de las aulas tiene una gran importancia para determinar los procesos de atención de las personas. Los resultados de esta revisión muestran que la forma y materialidad, el color, la altura y anchura, los factores ambientales (iluminación, sonido y temperatura), la distribución y estilo del mobiliario y la circulación a través del espacio de las aulas tienen una gran influencia en la atención y pueden ser evaluados de forma objetiva. A pesar de todos los avances en este campo, se encuentran limitaciones metodológicas y una falta de protocolos estandarizados. Por lo tanto, es necesaria una investigación futura para proporcionar una comprensión exhaustiva de cómo la atención humana puede ser mejorada por el entorno al que está expuesta.

Palabras clave: atención, capacidades cognitivas, diseño de espacios educativos, matemáticas, neuroarquitectura.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo general	4
2.2. Objetivos específicos	4
3. MÉTODO	5
3.1. Recopilación de datos y fuentes documentales	5
3.2. Criterios de selección	6
3.3 Resultados de la búsqueda y selección de documentos	7
4. DESARROLLO Y DISCUSIÓN	10
4.1. La atención en el proceso enseñanza-aprendizaje de las matemáticas	10
4.2. Neuroarquitectura: variables de diseño y su impacto en la atención	12
4.2.1. Forma y materialidad	12
4.2.2. Color	13
4.2.3. Altura y anchura	15
4.2.4. Factores ambientales (iluminación, sonido, temperatura y calidad del aire)	16
4.2.5. Distribución y estilo del mobiliario del aula	18
4.2.6. Circulación a través del espacio	19
5. CONCLUSIONES Y VALORACIÓN CRÍTICA	24
5.1. Recorrido por los hallazgos más importantes	24
5.2. Análisis de la consecución de los objetivos marcados y limitaciones	26
5.3. Reflexión personal sobre las aportaciones que ha supuesto para mi formación como docente la elaboración del TFM	28
6. REFERENCIAS	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cadenas de palabras utilizadas para la búsqueda de documentos que tratan el impacto de la atención en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas	5
Tabla 2. Cadenas de palabras utilizadas para la búsqueda de documentos que analizan cómo influyen las variables de diseño en la atención	6
Tabla 3. Documentos encontrados inicialmente en cada base de datos para la búsqueda de documentos que tratan el impacto de la atención en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas	7
Tabla 4. Documentos encontrados inicialmente en cada base de datos para la búsqueda de documentos que analizan cómo influyen las variables de diseño en la atención	7
Tabla 5. Clasificación de los estudios según el tipo de variable de diseño	10
Tabla 6. Resumen de los hallazgos de los estudios seleccionados e impacto sobre la atención de las variables analizadas	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de selección de los documentos que analizan cómo influyen las variables de diseño en la atención	9
Figura 2. Resumen gráfico de las variables que mejoran los procesos de atención	26

1. INTRODUCCIÓN

La atención es un proceso mental que facilita el procesamiento de estímulos, pensamientos o acciones importantes mientras se filtran los irrelevantes o distractivos (Gazzaniga et al., 2006). Esta función es esencial debido al entorno siempre cambiante y dinámico en el que opera el ser humano y a las limitaciones inherentes en la capacidad cerebral para procesar información en tiempo real. Por consiguiente, se requieren sistemas neuronales que posibiliten la capacidad de seleccionar de manera específica los estímulos pertinentes según el contexto, y estos sistemas son comúnmente referidos como atención (Bernabéu, 2017).

En el proceso de aprendizaje de cualquier materia, la atención representa un elemento fundamental, ya que actúa como una puerta de acceso al cerebro, a través de la cual se absorbe y retiene la información proveniente del entorno que nos rodea. Sin atención, no hay proceso de aprendizaje ni almacenamiento consciente de la información ni adquisición de conocimientos. La atención representa el mecanismo cerebral esencial para la toma de conciencia sobre algo. Este mecanismo coordina la conexión funcional entre neuronas dispersas en la corteza cerebral y el tálamo, activando así el proceso de conciencia. Para aprender y memorizar, especialmente en el contexto educativo, se requiere de ese enfoque preciso y absoluto que proporciona la atención (Mora, 2013). Investigaciones como las de Syka y Merzenich (2005) han evidenciado que la atención es esencial para la formación de nuevas conexiones neuronales y para el establecimiento de circuitos cerebrales duraderos y estables. La creación de tales conexiones neuronales y circuitos cerebrales sólidos únicamente tiene lugar cuando se enfoca la atención en el proceso.

Refiriéndonos de manera específica al proceso de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas, la atención tiene un rol fundamental ya que la adquisición de conocimientos matemáticos implica que los estudiantes deben llegar al razonamiento analítico (Rivera-Rivera, 2019), y es muy difícil conseguirlo sin una concentración adecuada. Además, las dificultades en el aprendizaje matemático en muchas ocasiones se originan a partir de una deficiencia en ciertas capacidades cognitivas generales, donde la atención y la memoria de trabajo ocupan un lugar principal (Villagrán et al., 2015).

Ahora bien, ¿qué es la neuroarquitectura y qué influencia tiene sobre la atención de los estudiantes? ¿Cómo podemos aplicar la neuroarquitectura en los espacios educativos? El

término "neuroarquitectura" es relativamente nuevo, fusionando aportes de la neurociencia con el campo de la arquitectura para comprender la relación entre los procesos cerebrales y el entorno arquitectónico (Montiel, 2018). Podemos definir neurociencia como el estudio científico del sistema nervioso (el cerebro, la médula espinal y el sistema nervioso periférico) y sus funciones (Gage, 2015). Los primeros estudios considerados como “neurociencia aplicada a la arquitectura escolar” (Lippman, 2010) surgieron en los Estados Unidos, donde en 2003 se estableció la Academia de Neurociencia para la Arquitectura (ANFA) en San Diego. Posteriormente, se han desarrollado investigaciones de manera gradual en Latinoamérica y, a partir del año 2010, se observa un incremento en la producción académica sobre este concepto también en España. Podemos destacar, que la mayoría de los autores provienen del ámbito de la arquitectura, con menos casos de contribuciones desde la perspectiva de pedagogos y docentes. Sin embargo, en tiempos recientes, equipos interdisciplinarios, que incluyen la participación de docentes, están estableciendo sinergias para comprender cómo el entorno arquitectónico escolar puede contribuir a alcanzar los objetivos del proyecto educativo (Montiel, 2018).

Desde mediados del siglo XX hay evidencias de que al proyectar un centro educativo no se puede pensar en solo términos arquitectónicos, de funcionalidad, de planos o de ladrillos (Perkins, 1957). El arquitecto debe pensar en los estudiantes y en cómo el edificio será capaz de ayudar a conseguir los objetivos docentes, siendo una herramienta educativa más. Saura et al. (2016) señalan que la discordancia entre la construcción de un colegio y su función como espacio educativo se debe a que el arquitecto proyecta el edificio desde su punto de vista particular y no es el resultado de un pensamiento interdisciplinario puesto al servicio de la sociedad. Es decir, cuando se diseña un centro educativo no hay que pensar solo en la parte técnica sino en cómo ese edificio se utilizará para educar y transmitir valores culturales (Saura et al., 2016).

La premisa para estudiar los espacios educativos desde el punto de vista de la neuroarquitectura es que los entornos construidos afectan a procesos cognitivos, como la atención y la memoria (Marchand et al., 2014). La memoria y la atención son la base de la cognición, y estos sistemas cognitivos destacan en este campo como los principales mecanismos involucrados en los procesos de aprendizaje (Ritter et al., 2014; Llorens-Gómez et al., 2022). Todo esto es debido a que, aunque la capacidad cognitiva general de un individuo es relativamente estática, el rendimiento cognitivo puntual, y por lo tanto la

atención, sí que está influenciado por el entorno (Thompson et al., 2017). Esta dependencia del entorno, en nuestro caso particular el aula de un centro educativo, es uno de los grandes puntos de interés de esta revisión.

Para aplicar los conocimientos que nos proporciona la neurociencia para la construcción de espacios educativos debemos utilizar el método de Diseño Basado en las Evidencias (EBD, por sus siglas en inglés). El EBD se empezó a utilizar en el diseño de centros médicos y hospitales y en los últimos años se ha extendido a otro tipo de edificios como pueden ser los centros educativos y sus aulas, que actualmente es uno de los entornos más estudiados (Llorens-Gámez et al., 2022). Esto significa un gran cambio en la forma de trabajar de los arquitectos, ya que tradicionalmente han confiado en su percepción y no en los métodos científicos, pero gracias a los últimos avances de la neurociencia que pueden explicar cómo afecta el entorno a nuestras emociones y capacidad cognitiva, pueden servirse de ellos para lograr un diseño que responda de la mejor manera a las finalidades del edificio (Llorens-Gámez et al., 2022).

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Máster (TFM) es analizar cómo el diseño del aula de un centro educativo de secundaria afecta en la atención de los estudiantes, a partir de la revisión de diversas investigaciones publicadas. La luz, la geometría, los materiales, la altura, el sonido, el color y la textura hacen que cada aula sea diferente y única, y por tanto influye de forma diversa en la capacidad cognitiva de las personas.

En esta revisión teórica, en primer lugar expondremos los objetivos generales y específicos que se pretenden lograr. Seguidamente, se especificará el método, es decir, el tipo de investigación que vamos a realizar para conseguir llegar a los objetivos propuestos, qué fuentes documentales y qué datos vamos a estudiar, las palabras clave utilizadas para encontrar los documentos necesarios, describiremos los criterios de inclusión y por último detallaremos los documentos seleccionados y los resultados. A continuación, desarrollaremos la revisión y discutiremos los diferentes hallazgos encontrados, desde un punto de vista personal y crítico, analizando las aportaciones de los diferentes autores. En este apartado clasificaremos las diferentes variables analizadas en seis categorías diferentes: (1) forma y materialidad, (2) color, (3) altura y anchura, (4) factores ambientales (iluminación, sonido y temperatura), (5) distribución y estilo del mobiliario y (6) circulación a través del espacio. A partir de esta clasificación argumentaremos cómo afecta cada variable a los procesos de atención y qué aspectos tenemos que tener en cuenta a la hora de diseñar un aula para

favorecer los procesos cognitivos y el aprendizaje. Por último, y una vez analizadas todas las fuentes, mostraremos nuestras conclusiones de forma honesta, resumiendo las ideas principales del estudio y haremos una valoración crítica de nuestro trabajo. Analizaremos los posibles sesgos existentes en los estudios seleccionados y cuáles son sus limitaciones.

2. OBJETIVOS

El presente TFM en la modalidad de revisión teórica tiene la voluntad de contribuir a la mejora del proceso educativo resaltando la importancia de la atención en el proceso de enseñanza-aprendizaje, además de dar a conocer a la comunidad el concepto de la neuroarquitectura aplicada a los espacios educativos. Para ello se plantean los siguientes objetivos:

2.1. Objetivo general

- Analizar la influencia del diseño de las aulas en la atención de los estudiantes de secundaria de matemáticas desde el punto de vista de la neuroarquitectura.

2.2. Objetivos específicos

- Justificar la importancia de la atención en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes de matemáticas de secundaria.
- Describir desde un punto de vista neurocientífico cómo se puede favorecer la atención de los alumnos a través del entorno construido.
- Concretar los aspectos de la neurociencia que influyen en el diseño de las aulas.
- Describir qué es la neuroarquitectura y su aplicación en el diseño de las aulas.
- Analizar los parámetros arquitectónicos influyentes en el nivel de atención de los estudiantes: la geometría del aula, la altura, la iluminación, los colores, etc.
- Descubrir las estrategias que se pueden utilizar en el diseño de las aulas para mejorar la atención de los estudiantes.

3. MÉTODO

Se ha utilizado una metodología sistemática y rigurosa para la revisión teórica. Esta sección abarca la descripción del proceso de recolección de datos, los criterios de inclusión y un resumen o síntesis de los datos obtenidos.

3.1. Recopilación de datos y fuentes documentales

Al tratarse de un tema multidisciplinar, en un principio no nos lleva a rastrear palabras clave aisladas sino que decidimos buscar diversas cadenas de palabras. Para ello se realiza una primera búsqueda para recopilar los documentos que tratan la importancia de la atención en los procesos de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas. Se utilizan cadenas de palabras formadas por los siguientes términos: atención, enseñanza, aprendizaje, adolescencia, matemáticas y educación secundaria (Tabla 1). También se realizó la búsqueda de las mismas cadenas de palabras en inglés: *attention, teaching, learning, adolescence, mathematics y secondary education*.

Tabla 1

Cadenas de palabras utilizadas para la búsqueda de documentos que tratan el impacto de la atención en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas

Palabra 1		Palabra 2		Palabra 3		Palabra 4
Atención	Y	Enseñanza O Aprendizaje				
Atención	Y	Enseñanza O Aprendizaje	Y	Adolescencia		
Atención	Y	Enseñanza O Aprendizaje	Y	Matemáticas		
Atención	Y	Enseñanza O Aprendizaje	Y	Matemáticas	Y	Educación secundaria

En segundo lugar se realiza una búsqueda para encontrar los documentos que analizan cómo influyen las variables de diseño en la atención. En este caso, las cadenas de palabras están formadas por dos o tres de los siguientes términos: atención, neuroarquitectura, arquitectura, neurociencia, espacios educativos, matemáticas, aula, diseño y arquitectura escolar (Tabla 2). Como en el caso anterior, también se realiza la búsqueda de las palabras en inglés: *attention, neuro-architecture, architecture, neuroscience, learning space, mathematics, classroom, design* y *educational architecture*.

Tabla 2

Cadenas de palabras utilizadas para la búsqueda documentos que analizan cómo influyen las variables de diseño en la atención

Palabra 1		Palabra 2		Palabra 3		Palabra 4
Atención	Y	Neuroarquitectura O Arquitectura O Neurociencia				
Atención	Y	Neuroarquitectura O Arquitectura O Neurociencia	Y	Espacio educativo		
Atención	Y	Neuroarquitectura O Arquitectura O Neurociencia	Y	Variable de diseño		
Atención	Y	Neuroarquitectura O Arquitectura O Neurociencia	Y	Variable de diseño	Y	Espacio educativo

Para la búsqueda se emplearon varias bases de datos en los campos de arquitectura, ciencia, ciencias sociales y neurociencias: Dialnet, Google Scholar, Scopus, ProQuest, y Web of Science (Tabla 3 y Tabla 4).

Tabla 3

Documentos encontrados inicialmente en cada base de datos para la búsqueda de documentos que tratan el impacto de la atención en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas

Base de datos	Documentos encontrados
Dialnet	19.857
Google Scholar	6.781.556
Scopus	236.771
ProQuest	3.592.881
Web of Science	310.545

Tabla 4

Documentos encontrados inicialmente en cada base de datos para la búsqueda de documentos que analizan cómo influyen las variables de diseño en la atención

Base de datos	Documentos encontrados
Dialnet	707
Google Scholar	2.487.142
Scopus	7818
ProQuest	466.198
Web of Science	27.457

3.2. Criterios de selección

Los criterios de selección aplicados se han escogido con el fin de asegurar una revisión rigurosa del impacto del diseño de las aulas en la atención de los estudiantes de secundaria. Los documentos estudiados que analizan cómo influyen las distintas variables de diseño en la atención de los estudiantes deben estar revisados por pares, estar escritos en inglés o español y haber sido publicados en los últimos 24 años (de 2000 a 2024) ya que se trata de un tema de reciente investigación y contiene los trabajos más destacados en este campo debido a los avances tecnológicos. En cambio, el impacto de la atención en los procesos de aprendizaje es un tema que ya se lleva estudiando desde hace décadas y hemos incluido tres estudios anteriores al año 2000.

Además, los estudios elegidos deben cumplir las características que detallamos a continuación. Primero, deben estudiar la atención de los estudiantes bajo condiciones controladas de variables de diseño (como tamaño, geometría, color y luz) en un entorno construido simulado o real. Es importante que se monitoricen y se aislen estas variables de diseño porque, de otro modo, no es posible demostrar que la influencia sobre la atención sea debido a un factor u otro. Segundo, deben describir la respuesta del sistema nervioso desde un punto de vista de la neurociencia, es decir, no incluimos estudios que basen sus resultados en los resultados académicos o en respuestas emocionales ya que no son los objetivos de la presente revisión teórica. Se excluyeron los modelos animales del presente análisis.

3.3 Resultados de la búsqueda y selección de documentos

Para encontrar los estudios más relevantes sobre cómo las distintas variables arquitectónicas pueden influir en la atención, se realizó una búsqueda por palabras clave donde 71 documentos fueron seleccionados después de leer el título y el resumen. De ellos, solo 29 documentos cumplían los criterios de selección, y fueron revisados en profundidad. Finalmente, 15 fueron los documentos incluidos en la revisión teórica, tal y como indica la Figura 1. Los estudios seleccionados han sido publicados en los últimos diez años y aunque cuatro de ellos son de autores españoles, todos han sido escritos en inglés.

En cuanto a los estudios que analizan el impacto de la atención en los procesos de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas, en un primer momento se seleccionaron 58 documentos a través del título y el resumen. Finalmente, 31 cumplían los criterios de selección pero solo se incluyeron 23 de ellos en el documento final del TFM.

Todos los artículos que cumplían los requisitos se sometieron a una revisión completa y con la ayuda del software Zotero se extrajeron los datos de cada estudio para recopilar información sobre el objetivo del presente trabajo: citas, materiales, métodos utilizados y resultados. Los datos obtenidos se analizaron de nuevo para seleccionar aquellos más adecuados para la revisión y se rechazaron el resto de artículos.

Finalmente, un total de 38 artículos (15 que analizan las variables arquitectónicas y 23 el impacto de la atención en los procesos de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas) se utilizaron para la elaboración del presente Trabajo Final de Máster y se clasificaron en seis categorías diferentes las variables que afectan a los procesos cognitivos de atención: (1) forma y materialidad, (2) color, (3) altura y anchura, (4) factores ambientales, (5) distribución y estilo del mobiliario y (6) circulación a través del espacio (Tabla 5).

Figura 1

Proceso de selección de los documentos que analizan cómo influyen las variables de diseño en la atención

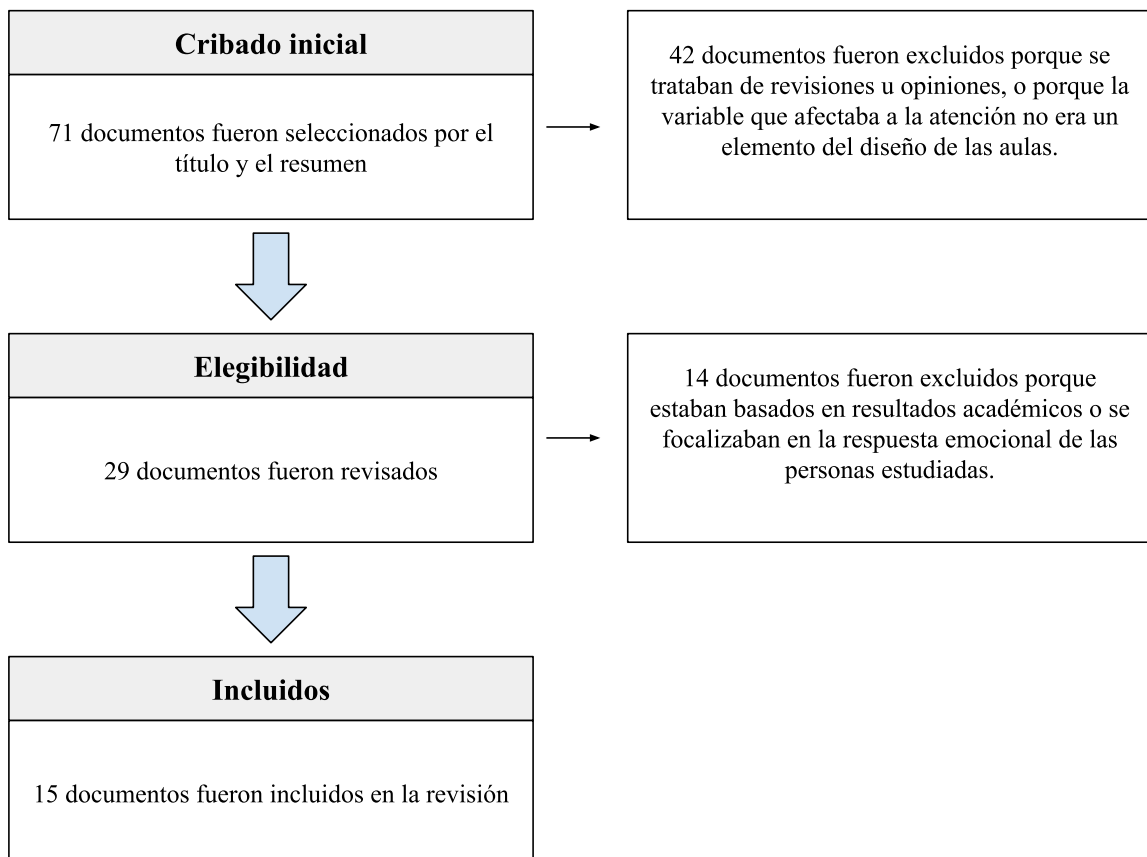


Tabla 5*Clasificación de los estudios seleccionados según el tipo de variable de diseño analizada*

Estudio	FM	CO	AA	FA	DEM	CE
Banaei et al. (2017)	X					
Barrett et al. (2015)				X		
Bernardo et al. (2021)		X				
Djebbara et al. (2019)						X
Duyan y Ünver (2016)		X				
Elbairuomy et al. (2019)	X					
Higuera-Trujillo et al. (2020)			X			
Llinares et al. (2021a)			X			
Llinares et al. (2021b)		X				
Llinares et al. (2021c)				X		
Marchand et al. (2014)				X		
Vartanian et al. (2014)			X			
Vecchiato et al. (2015a)					X	
Vecchiato et al. (2015b)					X	
Xiong et al. (2018)				X		

FM = Forma y Materialidad

CO = Color

AA = Altura y Anchura

FA = Factores ambientales

DEM = Distribución y Estilo del Mobiliario

CE = Circulación a través del Espacio

4. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Una vez identificados los estudios que satisfacen los criterios de selección vamos a exponer los resultados de la búsqueda y a explotar las aportaciones que los distintos autores aportan para acercarnos a los objetivos planteados en la presente revisión teórica. En primer lugar analizaremos cómo impacta el diseño de los espacios en la atención y que evidencias hay al respecto. En segundo lugar analizaremos la influencia de las distintas variables de diseño de forma individual en la atención de los estudiantes.

4.1. La atención en el proceso enseñanza-aprendizaje de las matemáticas

Históricamente, la educación de los adolescentes se ha fundamentado en la idea de que las capacidades intelectuales se establecen durante la niñez, por lo que en la adolescencia solo nos deberíamos enfocar en mantener y cuidar lo ya establecido (Marina, 2014). Es decir, según esta afirmación, durante la educación secundaria no se produce ninguna mejora en los procesos cognitivos de los estudiantes. No obstante, en las últimas décadas, la neurociencia ha demostrado que el cerebro sigue desarrollándose después de la infancia, lo que convierte a la educación secundaria en una excelente oportunidad para incrementar las capacidades del cerebro. El antiguo enfoque de la adolescencia, caracterizado por una visión pesimista y centrada en problemas y conflictos, necesita ser reemplazado por uno más realista que vea este periodo como una segunda era dorada del aprendizaje. Debido a la importancia de este momento vital, existe una preocupación a nivel mundial por realizar cambios significativos en la educación secundaria y adaptar los procesos de enseñanza a los nuevos hallazgos encontrados (Marina, 2014). Podemos afirmar con rotundidad que no aprovechar esta etapa representa una pérdida significativa de oportunidades ya que el cerebro de los adolescentes es flexible y adaptable, proporcionando una excelente ocasión para el aprendizaje y la creatividad (Blakemore, 2018).

Si hablamos concretamente de la enseñanza de las matemáticas, los cambios que se producen en el cerebro de los adolescentes son beneficiosos para su aprendizaje. El cuerpo caloso del cerebro aumenta en esta época, comunicando los dos hemisferios y favoreciendo la realización de tareas complejas. A su vez, mejoran las capacidades para resolver problemas, razonar y planificar (Keshavan et al., 2002). Pero todo esto no es posible sin una adecuada atención de los alumnos. Por suerte, el control atencional y la inhibición de estímulos no deseados también se incrementan durante la secundaria (Luna et al., 2004).

La atención es un fenómeno complejo de definir, ya que está influenciado por una amplia gama de factores que experimentamos constantemente en nuestras actividades diarias. Nos permite elegir qué estímulos priorizar y controlar nuestras acciones. Además, no hay que olvidar que la atención es un recurso muy escaso (González, 2017). Relacionado con lo anterior, la neurociencia cognitiva está evidenciando que la atención, un proceso vital para el aprendizaje, no se limita a una sola función cerebral, sino que implica diversas redes de atención (de alerta, de orientación y ejecutiva). Desde la perspectiva educativa, la atención ejecutiva, vinculada a la autorregulación, cobra gran importancia, ya que permite al estudiante dirigir su atención de manera voluntaria, bloqueando estímulos irrelevantes (Posner et al., 2016). En el proceso de aprendizaje, la atención ha sido siempre crucial. Sin embargo, es un proceso delicado y variable, que requiere tanto de la emoción como de la exploración de nuevas vivencias para mantenerse activa (Rosselló, 1998). Como ya hemos adelantado en la introducción de este documento, la atención tiene un rol fundamental en el aprendizaje de las matemáticas ya que los estudiantes deben llegar al razonamiento analítico, y es muy difícil conseguirlo sin una concentración adecuada.

Hoy en día, la neurociencia está proporcionando una orientación cada vez más precisa y confiable en la implementación de los últimos avances provenientes de la ciencia del cerebro, especialmente en el ámbito educativo. Comprender el funcionamiento del cerebro durante la adolescencia es fundamental para evaluar qué enfoques educativos son los más adecuados en esta etapa crucial (González, 2017). Además, estamos ante un nuevo horizonte donde emergen enfoques innovadores para respaldar las hipótesis sobre el aprendizaje, apoyados en datos genuinos y puros provenientes de los resultados obtenidos mediante el estudio del funcionamiento cerebral (Waldegg, 2003).

Una vez definido el gran impacto que tiene la atención en el proceso de enseñanza aprendizaje de los estudiantes de matemáticas de secundaria, vamos a analizar cómo influye el diseño de las aulas en este proceso a partir del análisis de seis diferentes variables.

4.2. Neuroarquitectura: variables de diseño y su impacto en la atención

4.2.1. Forma y materialidad

Dos de los estudios seleccionados evidenciaron cómo la forma y la materialidad de los espacios interiores influyen en la cognición. Banaei et al. (2017) emplearon la electroencefalografía junto con métodos psicométricos para realizar la investigación. Los participantes fueron solicitados a desplazarse por espacios simulados para experimentarlos desde diferentes perspectivas. Los resultados mostraron que los espacios interiores rectilíneos generan menos satisfacción y emoción en comparación con los espacios curvos, los cuales aumentan el nivel cognitivo de los usuarios y por lo tanto mejoran la atención. En Elbailomy et al. (2019) se analizó el efecto de seis tipos de geometrías interiores y cuatro formas de edificios en las ondas cerebrales de los usuarios. Aunque las formas tenían el mismo volumen, como un cubo, cono, pirámide, cilindro, bóveda y cúpula, se encontraron diferencias significativas en la frecuencia de resonancia en los espacios interiores. Los autores identificaron una relación entre la geometría de los espacios, los materiales de construcción y la percepción de los usuarios. Además, se descubrió que los entornos interiores construidos de acero, hormigón o vidrio pueden mejorar la atención, mientras que para la memoria y el aprendizaje, los espacios cuadrados o cilíndricos de hormigón resultan más beneficiosos. Por otro lado, la concentración y retención de información pueden ser mejoradas en espacios cónicos de vidrio o cuadrados de madera.

Como vemos en el párrafo anterior, existen conflictos entre algunas de las formas y los materiales que son beneficiosos para la atención y para la memoria o la concentración. Por ejemplo, mientras que unos autores exponen que los espacios curvilíneos son beneficiosos para la atención, el otro argumenta que los espacios cuadrados, y por tanto rectilíneos, mejoran la memoria. A su vez, identifican al vidrio como el único material que es beneficioso tanto para la atención como la memoria, y como sabemos es bastante improbable que las particiones de los espacios educativos estén realizados completamente de este material. Por lo tanto, será necesaria una investigación más profunda en este sentido para analizar qué materiales y formas son beneficiosas tanto para la atención como para la memoria ya que estas dos capacidades cognitivas son necesarias para el aprendizaje.

Otros dos aspectos que debemos tener en cuenta a la hora de analizar los resultados de estos estudios es que, por una parte, en ninguno de los dos casos se tuvo en cuenta las condiciones de iluminación, de temperatura y de ruido de la sala donde se realizó la investigación. Esto es

importante ya que, como veremos más adelante, estas tres variables influyen de gran manera en la capacidad de atención y por lo tanto en los resultados. Por otro lado, mientras que en Banaei et al. (2017) la dimensión del espacio virtual es similar a la de un aula real, en Elbailuomy et al. (2019) se reporta que la dimensión del aula utilizada es de 1m^3 , es decir una aula de $1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}$, que como podemos observar son unas dimensiones insuficientes. Esta divergencia en los tamaños de las aulas virtuales utilizadas también podría haber influido en los resultados obtenidos ya que la altura y la anchura son dos variables de gran importancia para la atención.

Por último, mientras que un estudio está realizado con personas reales e incluso sí identifica la edad media de los participantes que es de 28,6 años (Banaei et al., 2017), el otro fue realizado con un análisis numérico mediante simulación por computadora (Elbailuomy et al., 2019). Este dato ejemplifica la gran diversidad de procedimientos utilizados para hallar la influencia de estas variables en la atención, y por lo tanto es posible que diversos procedimientos nos lleven a resultados diferentes o contradictorios. Además, es destacable que el estudio realizado con personas reales solo analizó a siete hombres y ocho mujeres, una muestra que a priori parece insuficiente para obtener unos resultados fiables.

4.2.2. Color

Tres investigaciones han demostrado cómo el color tiene un impacto significativo en la atención utilizando métodos psicométricos. Solo uno de ellos utilizó métodos neurofisiológicos, incluyendo la variabilidad de la frecuencia cardíaca y el electroencefalograma. Bernardo et al. (2021) examinaron la influencia de la exposición al color verde en la atención. El estudio se realizó en tres fases diferenciadas. En una primera fase, se midieron los niveles de atención en una aula con paredes blancas. En una segunda fase, se analizó la atención de los mismos sujetos en la misma estancia una vez se había pintado una pared de color verde (verde artificial). Por último, se introdujeron plantas de color verde (verde natural) y se volvió a comprobar los niveles de atención. Los resultados revelaron que la introducción del color verde, tanto natural como artificial, en el aula tiene un impacto positivo en la atención selectiva y mantenida en el tiempo. Además, podemos observar que se produce un efecto acumulativo, es decir, la atención y los niveles cognitivos mejoran más si introducimos al mismo tiempo el color verde y las plantas en el aula. Un tema que no especifica el estudio y que se debería estudiar en futuras investigaciones es si el impacto del verde artificial y el verde natural es igual o distinto para la atención.

Duyan y Ünver (2016) exploraron cómo el color de las paredes del aula afecta la atención de los estudiantes. Se seleccionaron y aplicaron cinco colores en una pared del aula durante una semana. La atención de los estudiantes se evaluó al final de cada semana y los resultados revelaron que los niveles de atención de los estudiantes son superiores con las paredes moradas, seguidas de las azules, verdes, amarillas y rojas. Como podemos observar, los mejores resultados se lograron con los colores de tonalidad fría. Esta conclusión es muy interesante, ya que apoyan los datos del tercer estudio, que mostró que los colores de tonalidad fría aumentan la excitación y mejoran el rendimiento en tareas de atención y memoria (Llinares et al., 2021b) y además también concuerdan con el primer estudio ya que el color verde se corresponde con una tonalidad fría.

Es destacable la coincidencia en los resultados de las tres investigaciones, e invita a pensar que los datos obtenidos son de relevancia en cuanto al uso de colores fríos en las paredes de las aulas para favorecer la atención de los estudiantes. Por el contrario, hay que tener en cuenta que la muestra elegida para los tres estudios es pequeña y se necesitarían investigaciones de mayor escala para confirmar hallazgos. Además, en ninguno de los estudios se controló la temperatura ni el nivel de ruido en el momento de la investigación, dos variables que influyen notablemente en la atención y pueden influir en los resultados. En cuanto a la iluminación, Llinares et al. (2021b) controlaron la temperatura de la iluminación interior pero sin definir la intensidad y Duyan y Ünver (2016) indicaron la intensidad de la luz pero sin definir la temperatura. En el futuro se deberían controlar las características del espacio donde se realiza la investigación con ánimo de obtener resultados no sesgados.

Por último, es positivo que dos de los estudios se llevaran a cabo en aulas de dimensiones adecuadas y reales, mientras que en la investigación de Duyan y Ünver (2016) no se especifican las dimensiones. Este dato es importante ya que como veremos a continuación, el tamaño del aula influye en los niveles de atención y, por lo tanto, es una variable que se debería controlar en todos los estudios de este tipo.

4.2.3. Altura y anchura

Tres investigaciones evidenciaron el significativo efecto de la altura del techo y su amplitud. Dos de ellos, Higuera-Trujillo et al. (2020) y Llinares et al.(2021a), se realizaron en entornos virtuales mientras que en Vartanian et al. (2014) se mostraron fotografías de diferentes espacios a los participantes.

En Higuera-Trujillo et al. (2020), los participantes debían realizar tareas psicológicas centradas en la atención y en la memoria durante una inmersión en un aula virtual. Algo positivo es que se utilizó como base las dimensiones de una aula real física de 8.80 metros de ancho y 2.60 metros de altura para crear una réplica virtual. A partir del aula base se crearon nueve configuraciones diferentes en las que se iba disminuyendo la altura y el ancho del aula progresivamente y se comprobaban los resultados de las tareas psicológicas. Por un lado, se comprobó que la altura del techo tenía un impacto importante en las tareas que medían la atención, y eran mucho mejores cuando la altura del techo era menor. En cambio, la altura carecía de impacto en las tareas de memoria. Por otro lado, no se observó que el ancho del aula tuviera impacto alguno sobre la atención, aunque sí que era relevante para la memoria, que se veía favorecida cuanto menor era la anchura del espacio.

Es importante destacar que la altura con la que mejores resultados se obtienen en este primer estudio es de 1.40 metros, algo que no es aplicable a la realidad, ya que es imposible construir aulas de menos de 2.50 metros de altura para que cumplan la normativa de construcción y sean utilizables. Por lo tanto, un estudio comparando diferentes alturas que cumplan la normativa de la construcción española sería interesante ya que podríamos trasladar los hallazgos a la realidad de forma sencilla.

Llinares et al. (2021a) también revelaron en su estudio que las aulas estrechas mejoran la capacidad cognitiva, lo cual está vinculado con niveles elevados de activación neuronal. Se examinaron los efectos de diversas configuraciones de anchura en el aula (8.80, 8.20 y 7.60 m), manteniendo constantes la longitud (16.50 m) y la altura (8.80 m). Se concluyó que un ancho menor favorecía un mayor nivel de atención de los participantes en el estudio. En este caso todas las dimensiones del aula utilizadas son perfectamente aplicables a la realidad, e incluso se podría ampliar este estudio probando con anchuras menores para estudiar si la atención sigue mejorando y si hay algún límite donde esto deja de suceder.

Finalmente, en Vartanian et al. (2014) se centraron en la altura y examinaron el impacto de esta variable utilizando estímulos 2D. Se analizaron tanto los juicios de preferencia y de belleza de los participantes de cada una de las imágenes mostradas como los resultados neuronales utilizando un análisis por resonancia magnética. Se evidenció que la altura del aula es de gran importancia e influye en la percepción estética de la misma. Los espacios con techo alto fueron considerados atractivos y estimulantes que mejoran la actividad cognitiva y, por lo tanto, la atención. En cambio, los espacios con un techo bajo mejoran las respuestas emocionales y la toma de decisiones.

Al igual que ocurre con los estudios analizados en los puntos anteriores, en ninguno de los casos se controló la temperatura ni el ruido ni la intensidad de la iluminación artificial. Por lo tanto, los resultados pueden estar en algún caso sesgados por estas variables.

En resumen, por una parte podemos observar que la influencia de la altura y la anchura en la atención parece clara, ya que los estudios indican que diferentes configuraciones de las aulas producen respuestas cognitivas diversas. Por otra parte, aunque los dos estudios que analizan la anchura llegan a la conclusión de que la atención mejora cuando esta dimensión disminuye, no ocurre lo mismo con la altura y además uno de los estudios utiliza dimensiones que no se pueden aplicar a la realidad. Por lo tanto, más investigaciones en este campo serían necesarias para obtener datos significativos y fiables.

4.2.4. Factores ambientales (iluminación, sonido, temperatura y calidad del aire)

Diversas investigaciones también han evidenciado el significativo impacto que la luz, el sonido y la temperatura tienen en la atención. Marchand et al. (2014) exploraron si el proceso de aprendizaje y las percepciones del entorno de estudiantes universitarios influyen en tareas de lectura y escucha, considerando combinaciones de variables de confort como la temperatura, el sonido y la iluminación. Los hallazgos indicaron que en una evaluación de comprensión, aquellos participantes expuestos a la tarea de escucha fuera de su zona de confort obtuvieron calificaciones más desfavorables en comparación con aquellos que se encontraban en condiciones de confort habituales. Sin embargo, no se observaron discrepancias entre las condiciones de modalidad de lectura. En comparación con los estudiantes en sus condiciones de confort habituales, los estudiantes fuera de su zona habitual muestran efectos negativos ya que la temperatura y el sonido del aula tienen una influencia adversa considerable en sus resultados. Los resultados obtenidos por los participantes en la

actividad de lectura superan a los de aquellos que realizaron la tarea de escucha, atribuyéndose esto al bajo rendimiento de la tarea en relación con los niveles de sonido en el aula.

En Xiong et al. (2018) se investigó cómo la luz, la temperatura y el sonido influyen en el proceso de aprendizaje en diversas actividades cognitivas, como percepción, memoria, atención y resolución de problemas. Este estudio mostró que los factores ambientales tienen un impacto considerable en los procesos de aprendizaje excepto en las tareas de resolución de problemas. Según este estudio, el espacio físico de aprendizaje óptimo varía para cada tipo de proceso de aprendizaje. Para tareas orientadas a la atención son beneficiosas unas condiciones frescas, bastante silenciosas y muy luminosas. En cambio para tareas orientadas a la memoria son más beneficiosas las condiciones cálidas, silenciosas y moderadamente brillantes. Este estudio es muy interesante ya que se controlan específicamente la potencia de la iluminación, la temperatura y los niveles de ruido, y para la atención vemos que una iluminación de 2.200 lux, con una temperatura de 17°C y un máximo de 40 db de sonido son las condiciones idóneas. Estos datos son fácilmente trasladables al mundo real. Un punto a tener en cuenta, es que como las condiciones para favorecer la atención y la memorización no son idénticas, en una aula ideal, deberíamos de ser capaces de adaptar las condiciones ambientales según la tarea principal que se esté realizando, algo que parece factible con las tecnologías de domótica existentes en la actualidad.

Llinares et al. (2021c) se centraron en investigar el impacto de distintas potencias de iluminación y de diferentes temperaturas de luz en la atención y la memoria. Los resultados obtenidos indican que la atención mejora con niveles de iluminación altos (500 lx) y con temperaturas de color también elevadas (6.500 K). En cambio, con bajos niveles de iluminación (100 lx) se producen peores resultados ya que el tiempo de reacción es mayor y hay un número mayor de errores en las pruebas seleccionadas. Además, al igual que otros estudios revisados, se comprueba que las condiciones ambientales que favorecen la atención no son las mismas que favorecen la memoria, ya que los mejores resultados se obtienen con 200 lx. La temperatura de color más beneficiosa sí que es compartida con la de la atención. Gracias a la iluminación dinámica que nos proporciona la tecnología LED sería posible adaptar la iluminación en cada momento para lograr los mejores resultados. Es importante señalar que la potencia de iluminación máxima con la que se realizó el experimento fue de 500 lx, y hubiera sido interesante llegar hasta los 2.200 lx para comprobar si la atención

seguía mejorando, para así poder hacer una comparación con los resultados de la investigación de Xiong et al. (2018) que sí que llega a dicha potencia.

Por último, en Barrett et al. (2015) identifican siete parámetros que tienen influencia en el progreso académico de los estudiantes: iluminación, temperatura, calidad del aire, flexibilidad, color, complejidad del espacio y capacidad de apropiación. El estudio demuestra que todas estas variables tienen un gran impacto en la capacidad de aprendizaje pero destaca que la calidad del aire tiene especial importancia para mejorar la atención. Los resultados indican que una mala calidad del aire, y por tanto con un elevado nivel de CO₂, reduce significativamente la capacidad de atención mental de los alumnos. Los niveles de CO₂ suben cuando la ventilación de las aulas es insuficiente. Por lo tanto una posible solución, que también afectaría al diseño de las aulas, sería la instalación de grandes ventanas que facilitaran el intercambio de aire. En caso de que no existieran ventanas o que las dimensiones de las mismas fueran insuficientes, un equipo de ventilación mecánica sería necesario para estabilizar los niveles de CO₂. Se debería investigar con mayor profundidad este tema para definir exactamente las dimensiones mínimas de las ventanas de las aulas para asegurar la correcta ventilación de los espacios educativos.

4.2.5. Distribución y estilo del mobiliario del aula

Solo dos estudios, Vecchiato et al. (2015a, 2015b), utilizaron el electroencefalograma para investigar el impacto del estilo y la distribución de los muebles en los espacios interiores. Se crearon tres configuraciones de espacios diferentes que responden a la definición de "vacío", "moderno" o "vanguardista". Los autores concluyeron que las áreas de percepción visual y espacial en el sistema fronto-parietal son estimuladas por la percepción de un interior agradable y de confort, lo que indica la participación de procesos cognitivos y motores a lo largo de la evaluación de entornos construidos. Es decir, se demostró que la distribución y estilo del mobiliario influyen en la capacidad cognitiva y, por lo tanto, en la atención de los alumnos, siendo esta mejor cuando los espacios son reconocidos como familiares o de confort.

Al igual que en muchos de los estudios analizados, no se reporta información acerca de la iluminación, la temperatura y los niveles de sonido durante la realización de ninguna de las dos investigaciones, y como ya hemos argumentado en el punto anterior, estas variables ambientales tienen una gran influencia sobre la atención y los procesos cognitivos. Además,

otros dos condicionantes que pueden haber afectado a los resultados son que el tamaño del espacio utilizado para realizar el estudio es de 3 x 3 x 2.5 metros, es decir, unas dimensiones inferiores a la gran mayoría de las aulas de los centros educativos y que la muestra de participantes fue solo de doce personas, cinco hombres y siete mujeres y, por lo tanto, un estudio mayor sería necesario para confirmar los hallazgos.

4.2.6. Circulación a través del espacio

Finalmente, dos estudios investigaron el efecto de la transición y la circulación a través del espacio en los procesos cognitivos. Djebbara et al. (2019) exploraron el impacto de los procesos cognitivos y de la atención asociados con las posibilidades de tomar acciones propias y utilizar el movimiento dentro de espacios arquitectónicos con la ayuda del electroencefalograma. El experimento utilizó realidad virtual (RV) para realizar transiciones que iban desde espacios no transitables hasta espacios fácilmente transitables. La experiencia subjetiva se midió a través del tiempo de reacción de diversas acciones. Los resultados mostraron que la actividad cerebral sensorial temprana de cada persona varía según las posibilidades de acción dentro de un espacio y además que esta actividad se produce incluso antes de iniciar el movimiento. Estos hallazgos sugirieron que los procesos cognitivos están intrínsecamente conectados con el posible movimiento del cuerpo.

Por otro lado, en Vecchiato et al. (2015b) analizaron la atención en relación con los movimientos corporales de los participantes. Los investigadores encontraron que los procesos cognitivos, y los procesos de atención están inherentemente relacionados con las posibilidades de movimiento corporal. Así, este estudio reveló la participación de procesos motores en los procesos cognitivos de la percepción de entornos construidos.

Los resultados de estos estudios nos invitan a considerar que un análisis en profundidad del impacto de la acción, el movimiento y la continuidad espacial en los procesos cognitivos es valioso para investigaciones futuras. Esta variable ayudaría a los arquitectos y otros agentes involucrados en el diseño de las aulas a proyectar espacios que favorecieran el movimiento y la posibilidad de recorrer el espacio para así mejorar los procesos de atención durante la enseñanza.

La Tabla 6 recoge una síntesis de los principales hallazgos encontrados y el impacto en la atención de los mismos.

Tabla 6

Resumen de los hallazgos de los estudios seleccionados e impacto sobre la atención de las variables analizadas

Estudio	Variable	Impacto sobre la atención
Banaei et al. (2017)	Forma y materialidad	Los espacios interiores rectilíneos generan menos satisfacción y emoción en comparación con los espacios curvos, los cuales aumentan el nivel cognitivo de los usuarios y por lo tanto mejoran la atención.
Barrett et al. (2015)	Factores ambientales	La calidad del aire tiene especial importancia para mejorar la atención. Los resultados indican que una mala calidad del aire, y por tanto con un elevado nivel de CO ₂ , reduce significativamente la capacidad de atención mental de los alumnos.
Bernardo et al. (2021)	Color	La introducción del color verde, tanto natural como artificial, en el aula tiene un impacto positivo en la atención selectiva y mantenida en el tiempo. Además, se produce un efecto acumulativo, es decir, la atención y los niveles cognitivos mejoran más si introducimos al mismo tiempo el color verde y las plantas en el aula.

Tabla 6

Resumen de los hallazgos de los estudios seleccionados e impacto sobre la atención de las variables analizadas

Estudio	Variable	Impacto sobre la atención
Djebbara et al. (2019)	Circulación a través del espacio	La actividad cerebral sensorial temprana de cada persona varía según las posibilidades de acción dentro de un espacio y además esta actividad se produce incluso antes de iniciar el movimiento. Estos hallazgos sugieren que los procesos cognitivos están intrínsecamente conectados con el posible movimiento del cuerpo.
Duyan y Ünver (2016)	Color	Los niveles de atención de los estudiantes son superiores con las paredes moradas, seguidas de las azules, verdes, amarillas y rojas. Como podemos observar, los mejores resultados se lograron con los colores de tonalidad fría.
Elbaiuomy et al. (2019)	Forma y materialidad	Entornos interiores construidos de acero, hormigón o vidrio pueden mejorar la atención.
Higuera-Trujillo et al. (2020)	Altura y anchura	La altura del techo tiene un impacto importante en las tareas que miden la atención, y eran mucho mejores cuando la altura del techo era menor. Por otro lado, no se observó que el ancho del aula tuviera impacto alguno

Tabla 6

Resumen de los hallazgos de los estudios seleccionados e impacto sobre la atención de las variables analizadas

Estudio	Variable	Impacto sobre la atención
		sobre la atención.
Llinares et al. (2021a)	Altura y anchura	Un ancho menor favorece un mayor nivel de atención.
Llinares et al. (2021b)	Color	Los colores de tonalidad fría aumentan la excitación y mejoran el rendimiento en tareas de atención y memoria.
Llinares et al. (2021c)	Factores ambientales	La atención mejora con niveles de iluminación altos (500 lx) y con temperaturas de color también elevadas (6.500 K).
Marchand et al. (2014)	Factores ambientales	La iluminación, el sonido y la temperatura tienen un impacto significativo en la capacidad de atención. Los estudiantes que realizan tareas fuera de su zona de confort obtienen resultados desfavorables en actividades de lectura y escucha.
Vartanian et al. (2014)	Altura y anchura	Los espacios con techo alto se consideran atractivos y estimulantes. Mejoran la actividad cognitiva y por lo tanto la atención.
Vecchiato et al. (2015a)	Distribución del mobiliario y contexto	La distribución y estilo del mobiliario influyen en la capacidad cognitiva y por lo tanto en la atención de los

Tabla 6

Resumen de los hallazgos de los estudios seleccionados e impacto sobre la atención de las variables analizadas

Estudio	Variable	Impacto sobre la atención
		alumnos, siendo esta mejor cuando los espacios son reconocidos como familiares o de confort.
Vecchiato et al. (2015b)	Distribución del mobiliario y contexto / Circulación a través del espacio	La distribución y estilo del mobiliario influyen en la capacidad cognitiva y por lo tanto en la atención de los alumnos, siendo esta mejor cuando los espacios son reconocidos como familiares o de confort. Los procesos de atención están inherentemente relacionados con las posibilidades de movimiento corporal.
Xiong et al. (2018)	Factores ambientales	Para tareas orientadas a la atención son beneficiosas unas condiciones frescas, bastante silenciosas y muy luminosas.

Continuación Tabla 6

5. CONCLUSIONES Y VALORACIÓN CRÍTICA

5.1. Recorrido por los hallazgos más importantes

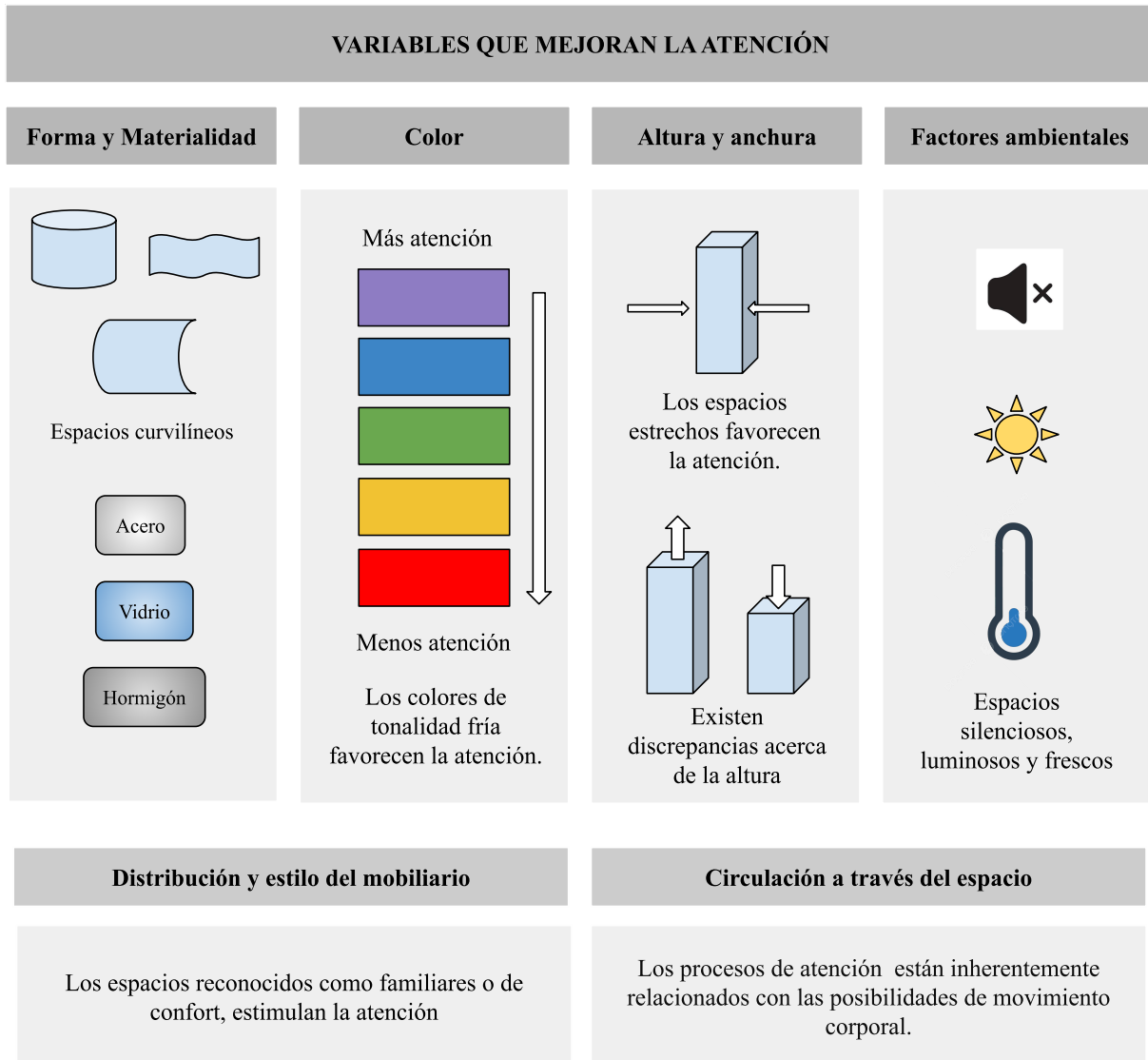
En este trabajo de revisión teórica, se evaluó si la literatura actual sobre las características de los espacios interiores puede evidenciar algún impacto en la atención. Se analizaron seis propiedades espaciales mencionadas en los artículos seleccionados (Tabla 6): (1) forma y materialidad, (2) color, (3) altura y anchura, (4) factores ambientales, (5) distribución y estilo del mobiliario, y (6) circulación a través del espacio. Es importante señalar, que se han estudiado estas variables de forma independiente y por tanto, la posible existencia de efectos sinérgicos entre las distintas características de diseño no se ha abordado todavía, por lo que este aspecto deberá ser investigado en futuras investigaciones.

Los resultados de esta revisión sugieren lo siguiente: (1) La forma y la geometría podrían mejorar los procesos de atención en espacios interiores curvilíneos construidos de acero, hormigón o vidrio. (2) El uso de un color de tono frío en las paredes del aula podría mejorar la atención. (3) La atención podría mejorarse en aulas estrechas, sin embargo existen discrepancias acerca de la altura. (4) Los espacios frescos, bastante silenciosos y luminosos mejoran los procesos de atención. (5) Los espacios reconocidos como familiares o de confort, estimulan la atención. (6) Los procesos de atención están inherentemente relacionados con las posibilidades de movimiento corporal. Estos hallazgos se resumen en la Figura 2.

Aunque de los estudios analizados podemos extraer algunas conclusiones sobre cómo afectan los espacios construidos a los procesos de atención, aún no se dispone de pruebas sólidas sobre el impacto neurológico de diversas variables de diseño de los entornos de aprendizaje. Además, en la actualidad, no existen enfoques estándar ni protocolos aceptados para determinar cómo los factores de diseño de los entornos construidos afectan, a nivel neurológico, a los procesos cognitivos humanos. Esta falta de consenso ha llevado a la adopción de diversas estrategias y métodos de investigación, dificultando la realización de un metaanálisis del impacto de las distintas variables. Por todo lo expuesto, se requiere una investigación exhaustiva que documente de manera controlada los factores ambientales para evaluar el impacto de los elementos de diseño en las reacciones atencionales, con el fin de avanzar en este campo.

Figura 2

Resumen gráfico de las variables que mejoran los procesos de atención



Dado que no hay un consenso claro sobre los métodos para analizar el impacto del entorno construido en los procesos cognitivos y ser esta una disciplina en la que los arquitectos carecen de experiencia y de formación, sería de gran ayuda para los profesionales de la construcción establecer protocolos estándar para cuantificar y determinar el efecto cognitivo de la percepción de los espacios interiores, lo que permitirá comprender mejor cómo las variables de diseño influyen en la atención. Además, la investigación debe seguir criterios estándar al informar los parámetros del diseño experimental para garantizar la claridad y reproducibilidad máximas. La adopción de nuevos principios de diseño en espacios de todos los sectores (educación, salud o industria) podría cambiar la forma en que los gobiernos en

todo el mundo valoran los proyectos de diseño de espacios interiores al establecer un enfoque replicable y validado. Si se comprende el impacto de las variables de diseño desde la perspectiva de la neuroarquitectura, los arquitectos desempeñarán un papel fundamental en el apoyo y la mejora de la educación, la productividad laboral y otras actividades humanas afectadas por el entorno construido.

5.2. Análisis de la consecución de los objetivos marcados y limitaciones

El objetivo general de esta revisión era analizar la influencia del diseño de las aulas en la atención de los estudiantes de secundaria de matemáticas desde el punto de vista de la neuroarquitectura. Este objetivo se ha cumplido de manera satisfactoria. La investigación ha proporcionado una visión comprensiva de cómo diferentes elementos del entorno físico pueden afectar la atención de los estudiantes. A través de la revisión de literatura y el análisis, se han identificado los factores clave que, desde la perspectiva neuroarquitectónica, influyen en el rendimiento cognitivo y la atención de los alumnos.

También hemos podido dar respuesta a los objetivos específicos. Durante el desarrollo de este TFM ha quedado justificado por qué la atención es un componente crítico para el aprendizaje eficaz. Se ha fundamentado con evidencias que muestran cómo una mejor atención puede conducir a una mayor comprensión y retención del contenido matemático. Además, el concepto de neuroarquitectura ha sido claramente definido y contextualizado en el ámbito educativo y ha quedado explicado cómo los principios de esta disciplina pueden ser aplicados para diseñar aulas que promuevan una mejor atención. Hemos detallado cómo elementos como la geometría del aula, la altura del techo, la iluminación o los colores pueden afectar la atención. Cada parámetro ha sido analizado y justificado en base a estudios previos y teorías neurocientíficas. Esto ha permitido proponer diversas estrategias de diseño que pueden ser implementadas para mejorar la atención en espacios educativos y también pueden ser aplicadas a otros usos como pueden ser el sanitario o la industria.

Sin embargo, a pesar de que se ha conseguido dar respuesta a todos los objetivos planteados, existen algunas limitaciones. No se ha profundizado en las sinergias entre las diferentes variables de diseño, es decir, cómo interactúan entre sí los distintos elementos arquitectónicos para influir en la atención de los estudiantes. Además, la falta de protocolos estandarizados para realizar investigaciones en neuroarquitectura ha sido un obstáculo. Esta carencia de

estándares ha dificultado la comparación directa de resultados entre estudios y la formulación de conclusiones más contundentes.

Podemos agrupar las limitaciones en cuatro categorías: (1) métodos y procedimiento variados; (2) documentación inadecuada de las características de los participantes; (3) falta de especificación del procedimiento y la razón para elegir el tamaño de la muestra; (4) falta de descripción de variables ambientales durante la realización de la investigación. La primera limitación señala que ningún estudio empleó el mismo método para medir o registrar el impacto del diseño del entorno construido en los procesos cognitivos. La variedad de métodos utilizados dificulta la síntesis y confirmación de los resultados a través de la replicación. Además, las diferentes condiciones ambientales (reales o simuladas) complican el establecimiento de un protocolo estándar. Los datos también se presentaron de manera diversa debido a las múltiples metodologías empleadas. Esta limitación también resaltó el uso de diferentes métodos de análisis estadístico, lo cual representa un desafío para la reproducibilidad. La gran dependencia de las mediciones estadísticas para aislar datos sugiere que se necesita una cuidadosa consideración en los diseños experimentales para lograr hallazgos consistentes. Las limitaciones segunda y tercera revelan una falta significativa de poder estadístico en los estudios, ya que solo incluyen un promedio de 78 participantes y una ligera variación en la edad. No está claro si esta muestra joven se debe a intenciones experimentales relacionadas con la edad o simplemente a que todos los participantes fueron seleccionados de instituciones educativas. Este hecho también sugiere una población con un nivel educativo superior al promedio mundial. Finalmente, la última limitación señaló que la falta de control de estos parámetros ambientales dificulta la consideración de elementos de diseño importantes, como la luz, la temperatura y la ventilación. La metodología de futuras investigaciones debe examinar detalladamente cómo los factores ambientales interactúan con los sistemas de medición para simular un entorno construido monitoreado y estandarizado.

Desde un punto de vista metodológico, los resultados indicaron que hasta el momento se habían llevado a cabo un número limitado de estudios en esta área de conocimiento. Como resultado, los experimentos presentan muestras limitadas y una escasa diversidad de grupos. Además, se emplearon diversos métodos metodológicos y estadísticos en cada estudio. Sin embargo, ninguno de los estudios documentó las dimensiones del impacto dentro de estos límites, lo que sugiere que aún no es posible realizar un metaanálisis en este campo de estudio.

En conclusión, el TFM ha logrado cumplir con la mayoría de sus objetivos, proporcionando una base sólida para entender la influencia del diseño de las aulas en la atención de los estudiantes de matemáticas. No obstante, existen algunas limitaciones como pueden ser la utilización de métodos variados, los tamaños de muestra reducidos y la falta de descripción de variables ambientales durante la realización de las investigaciones. Las futuras líneas de trabajo que podrían enriquecer aún más este campo de estudio deberían estar encaminadas a profundizar en las sinergias entre las distintas variables de diseño, a establecer protocolos estandarizados para la toma de datos y a monitorear los factores ambientales durante la toma de los mismos debido a la gran influencia que tienen sobre los procesos de atención.

5.3. Reflexión personal sobre las aportaciones que ha supuesto para mi formación como docente la elaboración del TFM

La elaboración de este TFM titulado "Neuroarquitectura en Espacios Educativos: La Influencia del Diseño de las Aulas en la Atención de los Estudiantes de Matemáticas de Secundaria" ha sido una experiencia profundamente enriquecedora y transformadora en mi formación como docente. Este proyecto no solo ha ampliado mis conocimientos sobre la intersección entre el diseño arquitectónico y la educación, sino que también ha reafirmado mi compromiso con la creación de entornos de aprendizaje más eficaces y adaptados a las necesidades de los estudiantes.

En primer lugar, el proceso de investigación para este TFM me permitió explorar un campo relativamente nuevo y emergente: la neuroarquitectura. Este enfoque interdisciplinario combina principios de la neurociencia, la psicología ambiental y la arquitectura para entender cómo los espacios físicos pueden influir en el comportamiento y el rendimiento cognitivo de las personas. Profundizar en esta área me ha proporcionado una perspectiva única sobre cómo el diseño de las aulas puede afectar la atención y el aprendizaje de los estudiantes, especialmente en una disciplina tan desafiante como las matemáticas. En segundo lugar, la revisión de la literatura y la recopilación de datos me han proporcionado una comprensión sólida de los diversos factores que influyen en la atención de los estudiantes. Elementos como la geometría, iluminación, la acústica, la disposición del mobiliario y los colores de las paredes pueden parecer triviales a primera vista, pero tienen un impacto significativo en la capacidad de los estudiantes para concentrarse y procesar información. Estos hallazgos me

han llevado a reevaluar las condiciones físicas de las aulas en las que ejerceré mi labor como docente y a considerar ajustes que podrían beneficiar a mis estudiantes.

Además, la elaboración de este TFM me ha permitido desarrollar habilidades críticas en la investigación educativa. Aprendí a formular preguntas de investigación pertinentes, diseñar metodologías apropiadas y analizar datos de manera rigurosa. La capacidad de interpretar estadísticas y analizar los datos ha sido especialmente valiosa, ya que me ha proporcionado una base cuantitativa para respaldar mis observaciones y recomendaciones. Esta competencia no solo es crucial para la elaboración de investigaciones académicas, sino que también es aplicable en la evaluación continua de mis prácticas docentes y en la implementación de mejoras basadas en evidencias.

El proceso de redacción y presentación del TFM también ha sido una oportunidad para mejorar mis habilidades de comunicación escrita y oral. La necesidad de articular claramente mis ideas, argumentos y hallazgos me ha llevado a refinar mi capacidad para expresar conceptos complejos de manera accesible y coherente. Esta habilidad es esencial en el ámbito educativo, donde la comunicación eficaz con estudiantes, profesores y otros profesionales es fundamental para el éxito pedagógico.

Una de las lecciones más importantes que he aprendido a través de este proyecto es la importancia de adoptar un enfoque holístico y centrado en el estudiante en la enseñanza. La neuroarquitectura enfatiza que los estudiantes no son simplemente receptores pasivos de información, sino individuos con necesidades cognitivas y emocionales únicas que pueden ser apoyadas o socavadas por su entorno físico. Esta comprensión ha reforzado mi convicción de que la educación debe ser un proceso integral que considera todos los aspectos del bienestar del estudiante, desde su entorno físico hasta su salud mental y emocional. Asimismo, la investigación sobre neuroarquitectura me ha llevado a valorar más la colaboración interdisciplinaria. Trabajar en la intersección de la educación, la neurociencia y la arquitectura ha destacado la riqueza que puede surgir de la integración de diferentes disciplinas y perspectivas. Dada mi formación inicial como arquitecto, esto me ha inspirado a buscar oportunidades de colaboración con profesionales de otros campos, como psicólogos, diseñadores o profesores para desarrollar soluciones innovadoras que mejoren la experiencia educativa.

En conclusión, la elaboración de mi TFM sobre la influencia del diseño de las aulas en la atención de los estudiantes de matemáticas de secundaria ha sido una experiencia formativa integral que ha enriquecido mi práctica docente de múltiples maneras. Me ha proporcionado una comprensión más profunda de cómo el entorno físico puede influir en el aprendizaje, me ha dotado de habilidades de investigación y comunicación avanzadas, y ha reforzado mi compromiso con un enfoque educativo holístico y centrado en el estudiante. Este proyecto ha sido un paso significativo en mi desarrollo profesional y me ha preparado para abordar de manera más efectiva los desafíos y oportunidades en el ámbito de la educación.

6. REFERENCIAS

- Banaei, M., Hatami, J., Yazdanfar, A., y Gramann, K. (2017). Walking through Architectural Spaces: The Impact of Interior Forms on Human Brain Dynamics. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00477>
- Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., y Barrett, L. (2015). The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis. *Building and Environment*, 89, 118-133. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.013>
- Bernabéu, E. (2017). La atención y la memoria como claves del proceso de aprendizaje. Aplicaciones para el entorno escolar. *ReiDoCrea: Revista electrónica de investigación Docencia Creativa*, 16-23. <https://doi.org/10.30827/Digibug.47141>
- Bernardo, F., Loupa-Ramos, I., Silva, C. M., y Manso, M. (2021). The Restorative Effect of the Presence of Greenery on the Classroom in Children's Cognitive Performance. *Sustainability*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/su13063488>
- Blakemore, S. J. (2008). Development of the social brain during adolescence. *Quarterly journal of experimental psychology*, 61(1), 40-49. <https://doi.org/10.1080/17470210701508715>
- Djebbara, Z., Fich, L. B., Petrini, L., y Gramann, K. (2019). Sensorimotor brain dynamics reflect architectural affordances. *PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(29), 14769-14778. <https://doi.org/10.1073/pnas.1900648116>
- Duyan, F., y Ünver, R. (2016). A research on the effect of classroom wall colours on student's attention. *A|Z ITU JOURNAL OF THE FACULTY OF ARCHITECTURE*, 13(2), Article 2. <https://doi.org/10.5505/itujfa.2016.57441>
- Elbailuomy, E., Hegazy, I., y Sheta, S. (2019). The impact of architectural spaces' geometric forms and construction materials on the users' brainwaves and consciousness status. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 14(3), 326-334. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctx018>
- Gage, F. (2015). Neuroscience: The Study of the Nervous System & Its Functions. *Daedalus*, 144, 5-9. https://doi.org/10.1162/DAED_e_00313
- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., y Mangun, G. R. (2006). *Cognitive neuroscience : the biology of the mind*. Norton.
- González, L. L. (2017). Cerebro y educación. *Propuestas para una escuela efectiva*.

- Higuera-Trujillo, J. L., Llinares Millán, C., Montañana I Aviñó, A., Torres Cueco, J., y Sentieri Omarrementeria, C. (2020, noviembre 11). The cognitive effect of university classroom geometry. A virtual reality study focused on memory and attention. *Proceedings INNODOCT/20. International Conference on Innovation, Documentation and Education*. INNODOCT 2020. <https://doi.org/10.4995/INN2020.2020.11857>
- Keshavan, M. S., Diwadkar, V. A., DeBellis, M., Dick, E., Kotwal, R., Rosenberg, D. R., ... y Pettegrew, J. W. (2002). Development of the corpus callosum in childhood, adolescence and early adulthood. *Life sciences*, 70(16), 1909-1922. [https://doi.org/10.1016/s0024-3205\(02\)01492-3](https://doi.org/10.1016/s0024-3205(02)01492-3)
- Lippman, P., (2010). Can the Physical Environment Have an Impact on the Learning Environment?. CELE Exchange 2010/13: OECD Publishing.
- Llinares, C., Castilla, N., y Higuera-Trujillo, J. L. (2021c). Do Attention and Memory Tasks Require the Same Lighting? A Study in University Classrooms. *Sustainability*, 13(15), Article 15. <https://doi.org/10.3390/su13158374>
- Llinares, C., Higuera-Trujillo, J. L., Aviñó, A. M. i, Torres, J., y Sentieri, C. (2021a). The influence of classroom width on attention and memory: Virtual-reality-based task performance and neurophysiological effects. *Building Research and Information*, 49(7), 813-826. <https://doi.org/10.1080/09613218.2021.1899798>
- Llinares, C., Higuera-Trujillo, J. L., y Serra, J. (2021b). Cold and warm coloured classrooms. Effects on students' attention and memory measured through psychological and neurophysiological responses. *BUILDING AND ENVIRONMENT*, 196, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107726>
- Llorens-Gámez, M., Higuera-Trujillo, J. L., Omarrementeria, C. S., y Llinares, C. (2022). The impact of the design of learning spaces on attention and memory from a neuroarchitectural approach: A systematic review. *Frontiers of Architectural Research*, 11(3), 542-560. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.12.002>
- Luna, B., Garver, K. E., Urban, T. A., Lazar, N. A., y Sweeney, J. A. (2004). Maturation of cognitive processes from late childhood to adulthood. *Child Development*, 75(5), 1357-1372. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2004.00745.x>
- Marchand, G. C., Nardi, N. M., Reynolds, D., y Pamoukov, S. (2014). The impact of the classroom built environment on student perceptions and learning. *Journal of Environmental Psychology*, 40, 187-197. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.06.009>

- Marina, J. A. (2014). Bases neurológicas del nuevo paradigma adolescente. *Revista Metamorfosis: Revista del Centro Reina Sofía sobre Adolescencia y Juventud*, 1, 21-36.
- Montiel, I. (2018). Neuroarquitectura en educación. Una aproximación al estado de la cuestión. *Revista Doctorado UMH*, 3(2), 6. <https://doi.org/10.21134/doctumh.v3i2.1451>
- Mora, F. (2013). *Neuroeducación, solo se puede aprender aquello que se ama*. Alianza Editorial.
- Nolé, M. L., Higuera-Trujillo, J. L., y Llinares, C. (2023). Lighting, colour and geometry: Which has the greatest influence on students' cognitive processes? *Frontiers of Architectural Research*, 12(4), 575-586. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2023.02.003>
- Perkins, H. V. (1957). Changing perceptions of self. *Childhood Education*, 34(2), 82-84. <https://doi.org/10.1080/00094056.1957.10728760>
- Posner, M. I., Rothbart, M. K., y Voelker, P. (2016). Developing brain networks of attention. *Current opinion in pediatrics*, 28(6), 720-724. <https://doi.org/10.1097/mop.0000000000000413>
- Ritter, F.E., Baxter, G.D., Churchill, E.F., Ritter, F.E., Baxter, G.D., Churchill, E.F. (2014). *Foundations for Designing User-Centered Systems*. Springer. doi:10.1007/978-1-4471-5134-0
- Rivera-Rivera, E. (2019). El neuroaprendizaje en la enseñanza de las matemáticas: La nueva propuesta educativa. *Entorno*, 67, 157-168. <https://doi.org/10.5377/entorno.v0i67.7498>
- Rosselló, J. (1998). *Psicología de la Atención*. Pirámide.
- Saura, M., Muntañola, J., Méndez, S., y Beltrán, J. (2016). De la educación del arquitecto a la arquitectura de la educación: Un diálogo imprescindible. *Bordón* 68(1), 165-180. doi:10.13042/Bordon.2016.68110
- Syka, J. y Merzenich, M.M. (2005). *Plasticity and signal representation in the auditory system*. Springer.
- Thompson, L. A., Detterman, D. K. y Plomin, R. (1991). Associations Between Cognitive Abilities And Scholastic Achievement: Genetic Overlap but Environmental Differences. *Psychological Science*, 2(3), 158-165. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1991.tb00124.x>

- Vartanian, O., Navarrete, G., Chatterjee, A., Fich, L. B., Leder, H., Modrono, C., Nadal, M., Rostrup, N., y Skov, M. (2014). Impact of Contour on Aesthetic Judgments and Approach-Avoidance Decisions in Architecture. En C. J. CelaConde, R. G. Lombardo, J. C. Avise, y F. J. Ayala (Eds.), *In the light of evolution: Volume VII: The human mental machinery* (pp. 263-282). The National Academies Press. <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000514615000017>
- Vecchiato, G., Jelic, A., Tieri, G., Maglione, A. G., De Matteis, F., y Babiloni, F. (2015a). Neurophysiological correlates of embodiment and motivational factors during the perception of virtual architectural environments. *Cognitive Processing*, *16*(Suppl 1), 425-429. <https://doi.org/10.1007/s10339-015-0725-6>
- Vecchiato, G., Tieri, G., Jelic, A., De Matteis, F., Maglione, A. G., y Babiloni, F. (2015b). Electroencephalographic correlates of sensorimotor integration and embodiment during the appreciation of virtual architectural environments. *Frontiers in Psychology*, *6*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01944>
- Villagrán, M. A., Mendizábal, E. A., y Navarro, J. I. (2015). Las dificultades de aprendizaje de las matemáticas (DAM). Estado del arte. *Revista de Psicología y Educación*, *10*(2), 13-42. <https://www.revistadepsicologiayeducacion.es/pdf/125.pdf>
- Waldegg, G. (2003). Reseña de " La comprensión del cerebro. Hacia una nueva ciencia del aprendizaje" de OCDE. *Educación Matemática*, *15*(3), 175-178. <https://doi.org/10.24844/em1503.11>
- Xiong, L., Huang, X., Li, J., Mao, P., Wang, X., Wang, R., y Tang, M. (2018). Impact of Indoor Physical Environment on Learning Efficiency in Different Types of Tasks: A 3 × 4 × 3 Full Factorial Design Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *15*(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph15061256>