



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS Y
SOCIALES

**Etiología del TDAH: aproximación desde la
neuropsicología**

Autora: Irene Casas Campos

Director: Marcos Bella Fernández

Madrid

2022/2023

Índice

Introducción.....	3
Alteraciones estructurales en el cerebro	4
Córtex prefrontal.....	5
Corteza motora primaria	7
Ganglios basales	9
Cerebelo	10
Cuerpo calloso	11
Amígdala.....	12
Córtex cingulado anterior	14
Alteraciones funcionales.....	15
Atención.....	15
Funciones ejecutivas	16
Memoria.....	16
Motivación	17
Inhibición motora.....	18
Otros factores implicados	18
Genética	19
Ambiente.....	19
Discusión	20
Conclusiones.....	21
Bibliografía.....	23

Resumen

El Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) es una problemática altamente compleja, siendo, además, uno de los trastornos con mayor prevalencia en la población infantil y adolescente en la actualidad. Posee una naturaleza multifactorial, lo que implica que existen una variedad de alteraciones estructurales en el encéfalo, mayoritariamente en el cerebro, asociadas a la causa de este trastorno, así como la influencia de posibles variables genéticas y ambientales. Se ha encontrado que las principales estructuras afectadas por el TDAH son la corteza prefrontal y corteza motora primaria, los ganglios basales, el cerebelo, el cuerpo calloso, la amígdala y el córtex cingulado anterior. Debido a ello, los pacientes de TDAH comúnmente manifiestan alteraciones funcionales que interfieren con su funcionamiento cotidiano, afectando a las áreas social, laboral o académica. Se ha determinado que dichas alteraciones se presentan principalmente en la atención, las funciones ejecutivas, la memoria, la motivación y la inhibición motora.

Palabras clave: TDAH, estructural, funcional, cerebro, alteración, neuropsicología

Abstract

The Attention Deficit and Hyperactivity Disorder (ADHD) is a series of highly complex difficulties, moreover, being one of the most prevalent disorders within child and adolescent population at present. It possesses a multifactorial nature, which implies the existence of a variety of structural alterations in the encephalon, mainly within the brain, associated to the cause of this disorder, along with the influence of possible genetic and environmental variables. It has been found that the main affected areas by ADHD are the prefrontal cortex and primary motor cortex, the basal ganglia, the cerebellum, the corpus callosum, the amygdala and the anterior cingulate cortex. Due to this, patients with ADHD commonly exhibit functional alterations, which interfere with their daily functioning, affecting the social, occupational, or academic areas. It has been determined that said alterations appear principally in attention, executive functions, memory, motivation, and motor inhibition.

Keywords: ADHD, structural, functional, brain, alteration, neuropsychology

Introducción

El Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) es uno de los trastornos más comunes entre niños y adolescentes en la actualidad, al tener una prevalencia superior al 5% (Drechsler et al., 2020). Además, el 60% de los diagnósticos infantiles se mantienen hasta la edad adulta (Soloviova et al., 2017). Junto con la naturaleza del trastorno y sus consecuencias para el paciente, su prevalencia lo convierte en un problema importante de salud mental

Según Mahone y Denckla (2017), para algunas personas con TDAH, las dificultades en los ámbitos académico y social persisten aun siendo tratados. El problema radica en la forma de abordar el TDAH, ya que debe estar orientada a identificar aquellos mecanismos neuropsicológicos subyacentes más que a la resolución de los síntomas, tomando en consideración la heterogeneidad de este trastorno (Pérez et al., 2016).

En lo relativo a la etiología del trastorno, se conoce que existen alteraciones funcionales y estructurales en el cerebro (Mahone y Denckla, 2017), así como la influencia de factores genéticos y ambientales (Piñón et al., 2019). Desde la neuropsicología, Castellanos et al. (1996) hallaron que el cerebro o ciertas áreas tienen un tamaño menor en niños con TDAH, principalmente el córtex prefrontal, el vermis del cerebelo, los ganglios basales y el cuerpo caloso, en relación con el circuito de atención y las funciones ejecutivas. Adicionalmente, se ha encontrado una demora en el desarrollo cortical, siendo más marcado en aquellas regiones relativas a la atención, especialmente en la corteza lateral prefrontal (Shaw et al., 2007). Hulvershorn et al. (2014) también relacionaron la delgadez del cíngulo anterior y de la amígdala con la motivación y el autocontrol emocional en el TDAH. Es debido a su naturaleza multifactorial y compleja que se carece de un consenso sobre su causa exacta (Martínez et al., 2015), por lo que en este trabajo se pretende realizar una exploración de las áreas cerebrales y, a su vez, las funciones que se encuentran alteradas por este trastorno.

En este trabajo se va a llevar a cabo una revisión bibliográfica sobre el TDAH, un trastorno del neurodesarrollo descrito en el DSM-V como un patrón duradero de falta de atención y/o impulsividad-hiperactividad que afecta al desarrollo o funcionamiento de la persona (American Psychiatric Association, 2013). Éste puede darse con manifestación predominante de inatención, con manifestación predominante impulsiva o hiperactiva o ser de presentación mixta o combinada, así como de gravedad leve, moderada o grave

según la intensidad y frecuencia de los síntomas (Soloviova et al., 2017). Los síntomas son de inicio temprano, comenzando a aparecer antes de los 12 años, generalmente, y afectan al funcionamiento académico, social u ocupacional del individuo, observándose en diversos entornos (Piñón et al., 2019).

Alteraciones estructurales en el cerebro

Numerosas regiones cerebrales se encuentran alteradas en personas diagnosticadas con TDAH, debido a que es un trastorno que atiende a múltiples variables, tal como se ha explicado anteriormente (Martínez et al., 2015). Es por esto por lo que buscar la causa a la problemática conlleva una gran complejidad, ya que se deben abordar diversas estructuras cerebrales, estudiando las anomalías que presentan los casos de pacientes de TDAH.

Shaw et al. (2007) realizaron un estudio en el que encontraron que el proceso de maduración cortical era similar en niños tanto con como sin diagnóstico de TDAH, siendo las áreas sensoriales y motoras primarias aquellas que antes alcanzaron el grosor cortical óptimo. Por el contrario, a las áreas de asociación multimodal, llegar a este punto les tomó un tiempo más extendido.

No obstante, Shaw et al. (2007) hallaron diferencias entre ambos grupos con respecto a la edad a la que el 50% de los puntos corticales adquirirían el grosor óptimo. El grupo de niños con TDAH conseguía esto a los 10.5 años de edad de media, mientras que el grupo control de niños con desarrollo neurotípico, lo alcanzaba a la media de 7.5 años de edad; esto permite observar una demora significativa en el grupo de TDAH. Pese a la dilación de la evolución cortical en niños con TDAH con respecto a los niños sin dicho diagnóstico, el orden en el que las diferentes regiones se desarrollan se mantiene similar en ambos grupos; las áreas sensoriales y motoras primarias llegan al grosor cortical óptimo en primer lugar, lo cual sugiere que el TDAH está caracterizado por una demora en la maduración cortical, en lugar de una desviación de la misma.

Junto con la tardía maduración de la corteza expuesta en el estudio, el trastorno implica alteraciones estructurales en el cerebro de los pacientes infantiles y adultos de TDAH. Por consiguiente, se va a desarrollar a continuación cada una de las regiones alteradas mencionadas, describiendo qué variaciones en sus estructuras se han encontrado.

Córtex prefrontal

La corteza prefrontal (Figura 1) representa un área decisiva del cerebro, que se ubica en la parte delantera de la cabeza, con una gran complejidad computacional, funcional y anatómica (Chafee y Heilbronner, 2022). Esta región está, a su vez, dividida en tres subestructuras: corteza prefrontal orbitofrontal, encargada del control de respuestas sociales y agresividad y de la inhibición de conductas; corteza prefrontal ventromedial, relacionada con la expresión de las emociones, la percepción, la motivación, inhibición de respuestas y la creatividad; y corteza prefrontal dorsolateral, que procesa información cognitiva, además de estar vinculada con la autoconciencia y las funciones ejecutivas (Kandel et al., 2001).

Figura 1. *Visión sagital de la corteza prefrontal del cerebro humano*



Nota. Adaptado de *Prefrontal cortex (left) - lateral view* [Fotografía], por Database Center for Life Science (DBCLS), 2010, BodyParts3D (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=32490636>). CC-BY-SA-2.1-jp

La interconectividad del córtex prefrontal presenta un problema de cara a la localización de las funciones, ya que el flujo de información está muy extendido. Esto le permite desempeñar una gran variedad de funciones, lo que puede mostrar las distintas áreas cerebrales con las que esta región se comunica (Chafee y Heilbronner, 2022).

Como se ha mencionado, a esta región se le atribuye un papel en diversas funciones, tales como planificación de conductas complejas, toma de decisiones, adecuación de la conducta social y la expresión de personalidad (Yang y Raine, 2009). También se ha asociado el córtex prefrontal con la abstracción, la capacidad de usar conceptos abstractos; la memoria de trabajo, almacenamiento y manejo de la información durante un breve periodo de tiempo; y la atención sensorial, que implica atender a estímulos captados por los sentidos (Chafee y Heilbronner, 2022). No obstante, de

acuerdo con Miller et al. (2002), su función principal reside en coordinar los pensamientos y acciones según las propias metas internas de cada persona. La alteración de estas funciones cognitivas suele verse implicada en la patogenia del TDAH (Castellanos y Tannock, 2002).

En un estudio que comparaba un grupo de niños con TDAH y un grupo control, Shaw et al. (2007) observaron que la demora en la maduración cortical fue más prominente en la corteza prefrontal lateral, que tenía lugar, aproximadamente, 5 años después del grupo control. También hallaron que la dilación fue significativa, aunque en menor medida, en las regiones superior y medial del córtex prefrontal; el grupo de niños con TDAH alcanzó el nivel óptimo alrededor de 2 años después que el grupo control.

Cuando se evalúa el desempeño en tareas que requieren de estas funciones, una corteza prefrontal hipoactiva es un hallazgo relativamente habitual en niños con TDAH, como se ve, por ejemplo, en el estudio realizado por Miao et al. (2017). Asimismo, Dickstein et al. (2006) pudieron apreciar que dicha hipoactividad estaba extendida, afectando a las cortezas dorsolateral, orbitofrontal e inferior del córtex prefrontal, entre otras estructuras que se señalarán en los apartados siguientes.

Con respecto a las subestructuras del córtex prefrontal, Yang et al. (2019) encontraron que la corteza orbitofrontal en adultos con TDAH muestra respuestas irregulares durante procesos de toma de decisiones. Esto se evaluó mediante el juego de azar de Iowa, una tarea que evalúa el procedimiento de decisión de la persona, y observaron que el córtex orbitofrontal presentaba menor actividad en sujetos adultos con TDAH comparado con los sujetos del grupo control. Concluyeron que existe una preferencia por refuerzo inmediato y una prevención del riesgo alterada, asociadas a dicha disfunción de la corteza orbitofrontal.

En otro estudio realizado por Wolf et al. (2009), se encontró una menor conectividad y déficits funcionales en el área ventromedial. Cubillo et al. (2011), en un estudio posterior, hallaron una disminución de la actividad de la corteza prefrontal dorsolateral durante una tarea de potenciales evocados¹.

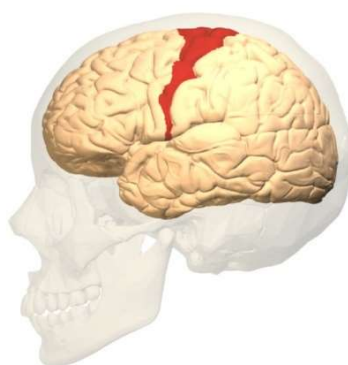
¹ Las técnicas de potencial evocado se emplean para evaluar los canales sensitivos. Esto se hace a través de la observación de la respuesta del cerebro ante diferentes estímulos sensoriales (André-Obadia et al., 2018).

Corteza motora primaria

La corteza motora primaria o M1 (Figura 2) es un área del cerebro situada en el lóbulo frontal, en su parte posterior. Está encargada de ejecutar movimientos y adaptarlos a condiciones nuevas, así como de mediar movimientos voluntarios del tronco y extremidades (Kandel et al., 2001).

La corteza motora primaria, de acuerdo con Bhattacharjee et al. (2021), está implicada no únicamente en la ejecución de movimientos voluntarios, sino también en la acción motora, acompañada o no de atención a la tarea; en el aprendizaje de secuencias motoras; en las fases tempranas de la consolidación motora; en funciones somatosensoriales, tales como la observación de tareas motoras y la integración de entradas sensoriales; en la inhibición de movimientos involuntarios; y en la imaginación o representación mental de una secuencia motora.

Figura 2. *Visión sagital de la corteza motora primaria (M1) del cerebro humano*



Nota. Adaptado de *Brodmann area 4 lateral* [Fotografía], por Database Center for Life Science (DBCLS), s.f., BodyParts3D (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brodmann_area_4_lateral.jpg). CC BY-SA 2.1 jp

Como se puede observar, a la corteza motora primaria se le atribuyen numerosas funciones motoras, entre las que se pueden encontrar el movimiento de los dedos, de las extremidades inferiores o de la boca; movimientos sacádicos, o rápidos, horizontales; el control de la respiración y el pestañeo de forma voluntaria; o la imaginación motora, que implica practicar mentalmente un movimiento (Rains y Campos, 2004).

La M1 también juega un papel importante en el ámbito sensorial, al estar encargada de la percepción de la cinestesia de los movimientos corporales o de responder

al tacto, por ejemplo. Adicionalmente, está aparentemente implicada en la codificación verbal que tiene lugar al procesar elementos no semánticos, así como que guarda relación con la memoria topográfica (Rains y Campos, 2004).

En el estudio realizado por Shaw et al. (2007), se mostró que la única región cortical donde la maduración ocurrió con ligera anterioridad en el grupo de niños con TDAH fue en el área motora primaria. Este desarrollo temprano, unido a la evolución tardía de las zonas encargadas del control motor superior, puede influir en la falta de control de actividad motora característica del TDAH.

Gilbert et al. (2019) hallaron en su estudio que los niños con TDAH mostraban una fisiología anómala del córtex motor y una reducida inhibición intra-cortical a intervalo corto, así como peor función motora y peor inhibición de respuesta.

En adición a lo previamente expuesto, Kahl et al. (2022) llevaron a cabo un estudio donde hallaron que los niveles de glutamato en la M1 eran más reducidos en el grupo de niños diagnosticados con TDAH. El glutamato es un neurotransmisor excitatorio muy importante y abundante en el sistema nervioso, favorece la comunicación entre las neuronas, por lo que esto implica que hay una reducción en la excitación de la corteza motora primaria en casos con este diagnóstico. También observaron que los niveles de GABA, un neurotransmisor inhibitorio encargado de limitar la excitabilidad de las neuronas, eran similares en el grupo de TDAH y el grupo control. No obstante, relacionaron este neurotransmisor con el homúnculo motor, que resultó ser de menor tamaño en el grupo de niños con TDAH. Con estos datos, concluyeron que existe un desequilibrio entre los mecanismos excitatorios e inhibitorios en las áreas motoras de los niños con TDAH.

En el área motora suplementaria se pudo notar una tendencia a niveles más altos de GABA en el grupo de niños con TDAH, en comparación con el grupo control, lo que podría haber contribuido a los niveles bajos de glutamato que este mismo grupo presenta en el área motora primaria (Kahl et al., 2022).

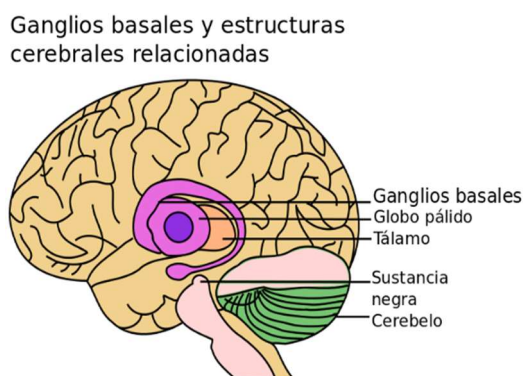
En ese mismo estudio, Kahl et al. (2022) encontraron que el umbral motor en reposo era más bajo en el grupo de TDAH, así como una densidad del foco del homúnculo motor (la relación entre la magnitud del foco y el área del homúnculo motor) más alto que en el grupo control. Los autores resaltan que los niveles de GABA en la M1 podrían verse incrementados en respuesta a la elevada excitación en este foco, como se demuestra

a través del bajo umbral motor en reposo del grupo de TDAH. En conjunto, todos los resultados expuestos en este estudio apuntan a una excitabilidad motora mayor en los niños con TDAH.

Ganglios basales

Los ganglios basales (Figura 3) son una estructura que se ubica en la zona interior del cerebro. Están compuestos por el cuerpo estriado, conformado a su vez por el núcleo caudado, putamen y estriado ventral; el globo pálido; sustancia negra; y el núcleo subtalámico. Juegan un papel importante regulando la ejecución de movimientos, estado anímico y conductas no motoras, así como contribuyendo a determinados procesos cognitivos, como, por ejemplo, aprender habilidades. Junto con el cerebelo, los ganglios basales regulan las regiones motoras del cerebro (Kandel et al., 2001).

Figura 3. *Ilustración de los ganglios basales del cerebro humano*



Nota. Adaptado de *Basal Ganglia and Related Structures es* [Fotografía], por Leevanjackson y Oxilium, 2011, *Basal Ganglia and Related Structures.svg* (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Basal_Ganglia_and_Related_Structures_es.svg). Obra de dominio público

Se trata de una región especializada, involucrada en tareas motoras tales como la secuenciación, las habilidades motoras y las acciones complejas, así como en la regulación de funciones cognitivas de orden superior, modulación del ánimo y comportamientos complejos no motores que requieren de la integración de distintos tipos de información (Riva et al., 2018).

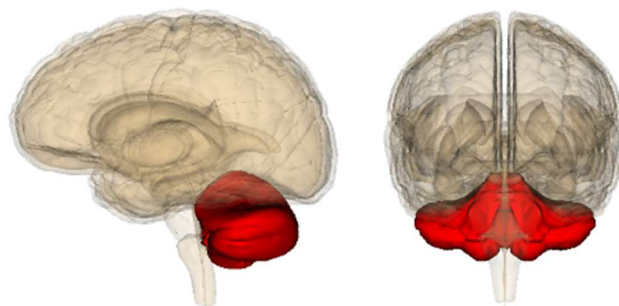
En lo referente a su implicación en el TDAH, no existen resultados concluyentes y consensuados. Dickstein et al. (2006) determinaron que ciertas porciones de los

ganglios basales se veían afectadas por la hipoactividad frontal en pacientes con TDAH. En la misma línea, en un estudio realizado por Qiu et al. (2009), se pudo observar que el volumen de los ganglios basales era significativamente menor en niños con TDAH, en comparación con el grupo control, mientras que en los grupos de niñas no se notó ninguna diferencia en forma o volumen. Adicionalmente, a través de un metaanálisis llevado a cabo por Frodl y Skokauskas (2012), se encontró que el volumen de sustancia gris en niños con TDAH era menor en los ganglios basales, en concreto en la zona del putamen derecho y el globo pálido. Pese a estos hallazgos, Forde et al. (2017) no descubrieron evidencia de que el TDAH estuviera asociado con una variación estructural de los ganglios basales.

Cerebelo

El cerebelo (Figura 4) es una zona situada en la parte posterior del encéfalo y compuesta por tres áreas funcionalmente diferentes: corteza cerebelosa, una capa exterior de sustancia gris; sustancia blanca interior; y tres núcleos profundos, que son el núcleo fastigial, el núcleo dentado y el núcleo interpuesto, conformado a la vez por el núcleo globoso y el núcleo emboliforme (Kandel et al., 2001). Pese a que no es un área cerebral, sí constituye parte del encéfalo, junto con el cerebro y el tronco encefálico. Por consiguiente, se ha decidido incluirlo, debido a que también se encuentra alterado en el TDAH.

Figura 4. *Visión sagital y frontal del cerebelo del encéfalo humano*



Nota. Adaptado de *Cerebellum* [Fotografía], por Life Science Databases (LSDB), 2009, Anatomography (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cerebellum.png>). CC-BY-SA-2.1-jp

Sus funciones son esencialmente motoras, puesto que está implicado en la regulación de movimientos, en lo que a su amplitud y fuerza se refiere; aprendizaje de

capacidades motoras; ajuste del patrón locomotor de acuerdo con la intención que tenga el individuo; y el control adaptativo de la postura. También está implicado en la regulación del equilibrio y movimientos de los ojos. Se resalta su importancia de cara a las lesiones en esta estructura, ya que conllevan una interrupción de la planificación motriz y un aumento del tiempo de reacción (Kandel et al., 2001).

Con relación al TDAH, Valera et al. (2007), concluyeron que, en pacientes de TDAH, una de las áreas con mayor reducción, en comparación al grupo control, era el cerebelo. Stoodley (2016), por su parte, observó que la disfunción del cerebelo podría provocar una interrupción en los circuitos atencionales, lo que podría conducir a comportamientos asociados a dicho trastorno.

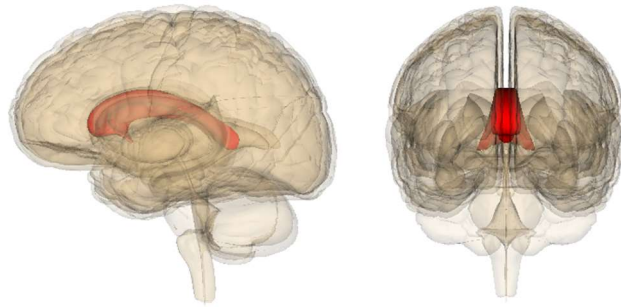
En un estudio realizado por Cubillo et al. (2012), encontraron que, durante una prueba para evaluar la atención sostenida, el cerebelo, entre otras estructuras, mostraba un incremento en la activación. Asimismo, Valera et al. (2005) hallaron que, durante una tarea de memoria de trabajo verbal, el cerebelo izquierdo mostraba una activación reducida.

Cuerpo calloso

El cuerpo calloso (Figura 5) es una agrupación de fibras de sustancia blanca, la de mayor tamaño de todo el cerebro, que se ubica en una región profunda del cerebro. Destaca por ser la estructura que conecta el hemisferio cerebral derecho y el hemisferio cerebral izquierdo entre sí. Consecuentemente, es imprescindible para que exista una comunicación interhemisférica eficaz, a fin de poder lograr una actividad coordinada y adecuada, así como asegurar un buen desempeño de aquellas funciones cognitivas que dependen de la colaboración de ambos hemisferios (Vaidya, 2012).

Esta estructura se compone de cuatro áreas: rostrum o pico, que une la corteza del cerebro y el quiasma óptico; rodilla o genu, que conecta ambos lóbulos frontales; el cuerpo, que conforma la parte central y alcanza las superficies del hemisferio derecho e izquierdo; y el rodete o esplenio, que une ambos lóbulos occipitales. El cuerpo calloso se ha asociado con la inteligencia, la rapidez de procesamiento y habilidades de resolución de problemas (Aminoff y Daroff, 2014).

Figura 5. *Vista sagital y frontal del cuerpo calloso del cerebro humano*



Nota. Adaptado de *Corpus callosum* [Fotografía], por Life Science Databases (LSDB), 2009, Anatomography (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Corpus_callosum.png). CC-BY-SA-2.1-jp

En el estudio realizado por Valera et al. (2007), se descubrió una reducción en el volumen del esplenio en los niños con TDAH. Estos resultados son consistentes con los de otras investigaciones, además de que se ha resaltado la posibilidad de que este menor tamaño del esplenio visto en el TDAH sea más notable en mujeres que en hombres (Hutchinson et al., 2008). Adicionalmente, estos mismos autores también observaron un menor volumen del rostrum, que parece ser más marcado en hombres con TDAH que en mujeres (Hutchinson et al., 2008).

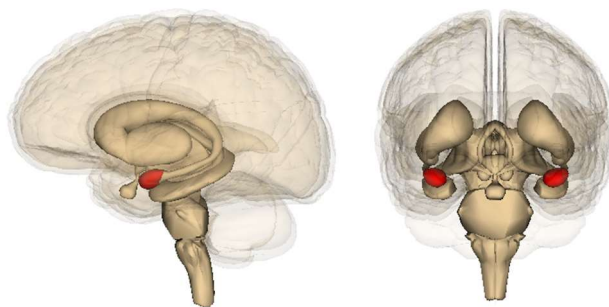
Wu et al. (2017) hallaron una organización reducida de la microestructura de sustancia blanca en jóvenes con TDAH. Por otro lado, Lin et al. (2022) observaron alteraciones del tracto occipital en las chicas con TDAH, que asociaron con una impulsividad elevada y un pobre control de respuesta, así como variaciones en los tractos callosos posterior y superior, que relacionaron con mayor inatención. En cuanto a los chicos, únicamente encontraron un menor volumen del tracto frontal.

Amígdala

La amígdala (Figura 6) es una estructura conformada por diversos núcleos ubicados en el lóbulo temporal medial (LeDoux, 2007). Constituye parte del sistema límbico y juega un papel fundamental en el comportamiento social y emocional de la persona, además de ser responsable del procesamiento emocional de la información sensorial que recibe de las áreas de recepción de estímulos (Tajima-Pozo et al., 2018).

En el ámbito emocional, esta región cerebral se ha asociado comúnmente con el miedo, al igual que con la recompensa, en términos de reforzamiento de conductas, y comportamientos agresivos o sexuales, entre otros (LeDoux, 2007). En lo que respecta a funciones cognitivas, la amígdala está involucrada en la percepción, atención o memoria explícita, por citar algunos ejemplos (LeDoux, 2007).

Figura 6. *Visión sagital y frontal de la amígdala del cerebro humano*



Nota. Adaptado de *Amygdala* [Fotografía], por Life Science Databases (LSDB), 2009, Anatomography (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Amygdala.png>). CC-BY-SA-2.1-jp

En un estudio realizado por Tajima-Pozo et al. (2018), encontraron una mayor activación de la parte izquierda de la amígdala al presentar un estímulo positivo o placentero en pacientes con TDAH, a diferencia del grupo control; sin embargo, al mostrar el estímulo desagradable, no detectaron activación de la amígdala. Su estudio también detectó que los pacientes con TDAH poseen un menor volumen cerebral; por otro lado, no encontraron relación entre mayor volumen de la amígdala izquierda con mayores puntuaciones en impulsividad motora (Tajima-Pozo et al., 2018). Estos hallazgos manifiestan la lateralización de la amígdala, mostrando que la parte derecha parece tener un papel más importante en la impulsividad y control de conducta (Tajima-Pozo et al., 2018).

En otra investigación realizada por Yang et al. (2021), se encontró una mayor inestabilidad de la conectividad funcional de las subregiones de la amígdala en niños con TDAH, así como una conexión funcional inestable entre la amígdala y el lóbulo parietal, lo que consideran una causa potencial del TDAH. Otro hallazgo de Yang et al. (2021) consiste en una mayor conectividad funcional dinámica de la amígdala superficial derecha en niños con TDAH, lo que resalta una mayor variabilidad temporal de la

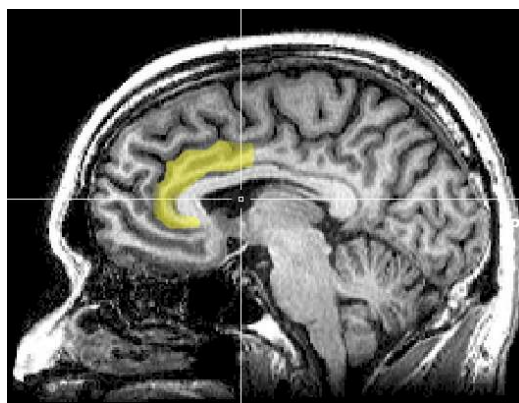
conectividad funcional en el córtex prefrontal derecho, el precúneo izquierdo y el giro postcentral izquierdo. En la misma línea, se observó una interacción inestable entre la amígdala y el córtex prefrontal en niños con TDAH (Yang et al., 2021).

Córtex cingulado anterior

El córtex cingulado anterior (Figura 7), es una estructura que se localiza en el interior del cerebro, rodeando el cuerpo calloso. Constituye una parte del sistema límbico, y recibe información relativa a la recompensa, proveniente de la corteza orbitofrontal. Es por el hecho de que conecta la recompensa a la acción, que la corteza cingulada anterior está implicada en las emociones (Rolls, 2019).

Actúa como enlace entre la cognición y la emoción, lo que permite a los humanos emitir las respuestas necesarias para lograr metas y adaptarse al medio. Participa en tareas de atención ejecutiva, que incluyen la detección de errores, control inhibitorio o flexibilidad cognitiva, entre otras que se encuentran afectadas en el TDAH, así como en el procesamiento emocional, debido a sus conexiones con otras áreas del sistema límbico (Guzmán-Ramírez et al., 2018).

Figura 7. Imagen por resonancia magnética del cingulado anterior del cerebro humano, resaltado en amarillo, corte sagital



Nota. Adaptado de *MRI anterior cingulate* [Fotografía], por Hall, G. B., 2011, Hall, G. B. (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MRI_anterior_cingulate.png). CC0 1.0 Dedicación de Dominio Público

Castellanos y Tannock (2002) hallaron un menor volumen de esta estructura en pacientes de TDAH. Posteriormente, se relacionó esta reducción de volumen, junto con la de la amígdala, con autocontrol emocional en el TDAH, y, por consiguiente, con la motivación que se manifiesta en este trastorno (Hulvershorn et al., 2014).

Los resultados obtenidos en un estudio realizado por Bonath et al. (2018) les llevaron a sugerir que la reducción de sustancia gris encontrada en la corteza del cíngulo anterior se hallaba directamente asociada a las dificultades atencionales presentes en el TDAH.

En la misma línea, se ha observado, a través de investigaciones sobre conectividad, que las alteraciones de conexión entre el cíngulo anterior y el córtex parietal, junto con carencias funcionales en el área prefrontal ventromedial, juegan un papel en la memoria de trabajo de pacientes de TDAH (Rubia et al., 2014).

Alteraciones funcionales

A raíz de las variaciones en las diferentes estructuras cerebrales, se desarrollan afectaciones funcionales en las personas que padecen TDAH, que es lo que posteriormente interfiere con su funcionamiento diario en los ámbitos social, académico, laboral, etc. En el TDAH no solo se han observado déficits en la atención, sino también en las funciones ejecutivas, la memoria, la motivación y la inhibición motora (Barkley, 1997; Skodzik et al., 2017; Tripp y Wickens, 2009).

Atención

La atención es un proceso cognitivo que implica la capacidad de dirigir los recursos cognitivos bien a determinados elementos del medio, aquellos que consideramos más relevantes, o bien a ejecutar ciertas conductas que valoramos como adecuadas. Implica, por tanto, el mantenimiento de cierto estado de activación, con el fin de procesar correctamente la información.

Existe un amplio abanico de tipos de atención, clasificándose en función del propio sujeto, de la naturaleza del estímulo o de la activación, entre otros. Es por esto por lo que el foco se va a poner únicamente en aquellos tipos de atención que se encuentran alterados en el TDAH.

En primer lugar, los resultados obtenidos en el estudio realizado por Siffredi et al. (2019), sugieren déficits en la atención selectiva, que se define como la capacidad de dirigir la atención a estímulos específicos mientras que hay otros presentes de forma simultánea. En segundo lugar, también se hallaron carencias en la atención dividida. Ésta implica la habilidad de atender a dos o más tareas al mismo tiempo (Siffredi et al., 2019).

Finalmente, Brown et al. (2020) encontraron dificultades moderadas en atención sostenida, aquella que nos permite focalizar la atención y mantenerla durante un periodo de tiempo, especialmente en lo relativo al mantenimiento de la inhibición de respuesta y vigilancia.

Funciones ejecutivas

Las funciones ejecutivas son un conjunto de procesos neurocognitivos que permiten mantener un patrón de resolución de problemas adecuado dirigido al cumplimiento de metas (Willcutt et al., 2005). Por citar ejemplos, la planificación, la flexibilidad cognitiva o la memoria de trabajo son funciones ejecutivas.

De acuerdo con Barkley (1997), existen cuatro funciones ejecutivas neuropsicológicas: (1) memoria de trabajo, la cual permite mantener activos aquellos elementos necesarios para la realización de una tarea durante la ejecución de la misma; (2) el autocontrol del afecto-motivaciones-activación, lo que permite inhibir o moderar emociones intensas gracias al autocontrol emocional; (3) la autoverbalización interna, que favorece el autocontrol y, por tanto, que las personas se guíen a sí mismas durante la realización de actividades; y (4) la reconstitución, que implica un análisis y una síntesis del comportamiento.

Adicionalmente, a través del estudio realizado por Mohamed et al. (2021), se pudo concluir que los pacientes de TDAH mostraban un enlentecimiento de la velocidad de procesamiento y un mayor nivel de distraibilidad. En la misma línea, Drechsler et al. (2020) resaltan déficits funcionales en casos diagnosticados de TDAH en el control inhibitorio, memoria de trabajo, procesos de recompensa y regulación de la atención, tanto durante la ejecución de tareas como en reposo.

Memoria

La memoria es el proceso cognitivo mediante el cual un individuo codifica, almacena y recupera la información de forma efectiva (Feldman, 2005). Las tres partes mencionadas constituyen tres procesos distintos: la codificación conlleva el registro inicial de información de forma conveniente, el almacenamiento supone mantener la información guardada en la memoria y la recuperación implica recobrar la información que se encuentra almacenada y llevarla a la conciencia para poder ser utilizada (Feldman, 2005). Dentro del ámbito de la memoria se puede diferenciar la memoria a corto plazo,

donde la información permanece aproximadamente entre 15 y 25 segundos, y la memoria a largo plazo, donde se retiene la información durante largos periodos de tiempo (Feldman, 2005).

Kofler et al. (2020) no encontraron alteraciones en la memoria a corto plazo, si bien cuando está presente un déficit en la memoria a corto plazo visoespacial, es probablemente como epifenómeno. Apoyándose en los resultados obtenidos, Kofler et al. (2020) también concluyen que la memoria a corto plazo fonológica no se encuentra afectada en niños con TDAH.

Por otra parte, en un estudio realizado por Skodzik et al. (2017) se hallaron déficits en la memoria a largo plazo en adultos con TDAH, especialmente en la memoria a largo plazo verbal, donde la diferencia con el grupo control fue elevada. Proponen que las dificultades en la memoria en pacientes de TDAH podrían deberse a un fallo de aprendizaje inducido en el proceso de codificación, ya que no observaron complicaciones en el almacenamiento ni en la recuperación de la información. En la misma línea, concluyen que cuanto más alta sea la demanda de organización y estrategias mnemónicas en una determinada tarea, más diferenciado está el desempeño entre el grupo control y el de pacientes de TDAH (Skodzik et al., 2017).

Motivación

La motivación, según Feldman (2005), hace referencia a los factores que activan y dirigen las conductas de las personas hacia determinadas metas. Se trata de un fenómeno complejo, ya que conlleva aspectos sociales, cognitivos y biológicos (Feldman, 2005).

En relación con la motivación, Tripp y Wickens (2009) hallaron que, en el TDAH, los mecanismos de reforzamiento se encontraban alterados, pudiendo considerarlo un aspecto central del trastorno y pudiendo servir de explicación de diversos síntomas que tienen lugar, aun cuando estas afectaciones no se den en todos los casos ni sean específicas del TDAH.

Asimismo, Tripp y Wickens (2009) encontraron que los niños con TDAH muestran preferencia por refuerzo inmediato, en lugar de refuerzo demorado. Normalmente, se experimenta una señal de dopamina anticipatoria inmediata, sin embargo, los niños con TDAH experimentan una señal de dopamina demorada a nivel

celular, lo que explicaría la sensibilidad que presentan ante el aplazamiento del refuerzo (Tripp y Wickens, 2009).

En otro estudio, llevado a cabo por Boot et al. (2020), se observó que las personas con TDAH generaban más ideas originales cuando se competía por una recompensa, mientras que no mostraron una motivación intrínseca elevada en la misma tarea. Estos resultados apuntan a que la motivación orientada a las metas puede conducir a un aumento de logros creativos en personas con TDAH. De la misma manera, los resultados arrojaron luz sobre unas habilidades creativas mayores en los ámbitos de la interpretación (artes escénicas o actuación musical) y de la mecánica y la ciencia (programación o llevar a cabo experimentos), mientras que esto no se observó en el ámbito artístico; esto sugiere que las personas con TDAH pueden sobresalir en tareas que encajen con sus habilidades y preferencias (Boot et al., 2020).

Inhibición motora

La inhibición motora alude a tres procesos inhibitorios interrelacionados, de acuerdo con Barkley (1997): la inhibición de una respuesta inicial a un suceso, la detención de una respuesta ya puesta en marcha al darse feedback por la comisión de errores y control de la interferencia. En pacientes con TDAH se han observado déficits en los tres procesos, indicando que existe una alteración de la inhibición motora en este trastorno (Barkley, 1997).

Dentro de esta área, cabe hacer alusión a las habilidades motrices finas, donde Mokobane et al. (2019) encontraron un peor rendimiento de los niños con TDAH, principalmente en las manifestaciones inatenta y combinada, en comparación con el grupo control, mostrando dificultades en la coordinación y velocidad psicomotora, lo cual genera dificultades a nivel motor, concretamente en la caligrafía y el rendimiento académico.

Otros factores implicados

En lo referente a la etiología del TDAH, junto con las alteraciones estructurales presentes en el trastorno, se encuentran los factores genéticos y ambientales – lo cual alude a su naturaleza multifactorial (Piñón et al. 2019).

Existe evidencia de que la genética conforma un factor de riesgo para el TDAH. Sin embargo, Faraone y Larsson (2019) sugieren que esto no excluye al ambiente como fuente de la etiología. Esto es debido a que la estimación de la heredabilidad en gemelos es menor al 100%, lo que apunta a la implicación de factores ambientales. Faraone y Larsson (2019) añaden que la estimación de la alta heredabilidad del TDAH engloba la interacción entre la genética y el ambiente, por lo que es posible que dicha interacción explique gran parte de la etiología del trastorno.

Genética

El TDAH es considerado un trastorno de alta heredabilidad, donde no únicamente los genes, sino también el riesgo prenatal, juegan un papel esencial en la patogénesis (Kian et al, 2022).

Gizer et al. (2009) resaltan que los genes que más influyen son los siguientes: el gen transportador de serotonina (5-HTT), el gen receptor de serotonina 1B (HTR1B), el gen transportador de dopamina (DAT1), el gen receptor de dopamina D4 (DRD4) y D5 (DRD5), y el gen SNAP25.

Ambiente

Aun considerando el papel de la genética en este trastorno, el curso del mismo no se puede explicar únicamente por ello. Banerjee et al. (2007) sugieren que diversos factores ambientales se encuentran asociados con el TDAH, resaltando que la sintomatología del paciente se da, generalmente, como resultado de la interacción entre la genética del individuo y su entorno, atendiendo también a la forma en la que los genes influyen en la forma de responder del individuo al medio.

Se ha observado que el riesgo de padecer TDAH aumenta con la exposición a determinadas sustancias, tales como humo de tabaco, alcohol o plomo, especialmente durante el periodo fetal, una etapa que se considera crítica de cara a dicho riesgo (Banerjee et al., 2007). Junto a esto, se ha determinado que las adversidades psicosociales en el hogar y un nivel socioeconómico menor también guardan relación con la etiología del TDAH (Banerjee et al., 2007)

Banerjee et al. (2007) destacan que la mayoría de estos factores de riesgo ambientales tienen lugar en las etapas tempranas del desarrollo, así como que tanto los factores de riesgo genéticos como los ambientales tienen pequeños efectos progresivos

en la expresión del TDAH, exceptuando casos menos comunes, como, por ejemplo, TDAH secundario a una lesión craneal cerrada.

Discusión

La etiología del TDAH es un tema complejo de abordar, ya que son numerosos los factores que se ven involucrados en este trastorno. Asimismo, mientras que sí existe consenso en la alteración de determinadas áreas, como, por ejemplo, en el córtex prefrontal o en la amígdala, en otras los resultados no terminan de ser definitivos, como puede verse en los ganglios basales, por ejemplo. Esto, además, acarrea complicaciones a la hora de tratar el trastorno, ya que no debería estar tan orientada a la sintomatología, sino al origen de la problemática (Pérez et al., 2016).

En este trabajo se ha encontrado que las principales áreas afectadas por este trastorno son el córtex prefrontal, la corteza motora primaria, los ganglios basales, el cerebelo, el cuerpo calloso, la amígdala y el córtex cingulado anterior. Estos resultados están en línea con la literatura existente, ya que son las estructuras que más habitualmente se citan como alteradas en el TDAH (Castellanos et al., 1996; Hulvershorn et al., 2014).

Adicionalmente, las funciones que se encuentran afectadas a causa de estas alteraciones estructurales son la atención, las funciones ejecutivas, la memoria, la motivación y la inhibición motora, según se ha concluido en esta revisión. Estos hallazgos también serían congruentes con la literatura existente al respecto, debido a que son las alteraciones funcionales que más frecuentemente se mencionan a raíz del TDAH (Barkley, 1997; Skodzik et al., 2017; Tripp y Wickens, 2009)

No obstante, no existe un consenso absoluto sobre todas las áreas alteradas en el trastorno, así como sobre si ciertas regiones presentan variaciones estructurales o no en comparación con sujetos sanos. Por ejemplo, los estudios sobre la relación de una alteración en los ganglios basales y el TDAH varían en cuanto a sus resultados. Algunos autores han observado diferencias en esta estructura entre los pacientes de TDAH y los sujetos control (Frodl y Skokauskas, 2012; Qiu et al., 2009), mientras que otros no han obtenido resultados concluyentes (Forde et al., 2017). En este caso, las propias condiciones de los estudios podrían haber influido en esta heterogeneidad de resultados.

Tomando esto en consideración, futuras investigaciones podrían beneficiarse de controlar posibles variables que puedan influir en la aparición de determinados resultados,

con el fin de conseguir una visión más clara de las alteraciones estructurales presentes en el TDAH. De esta forma, se podría orientar el tratamiento a la causa neuropsicológica, en lugar de a la sintomatología.

También es posible que la disparidad de resultados derive del hecho de que el TDAH es un trastorno muy heterogéneo, pudiendo tener diferentes manifestaciones entre individuos (Martínez et al., 2015). Algunas características se manifiestan en determinadas personas, mientras que en otras no, y viceversa. Es un trastorno complejo del que ya existe una amplia investigación, aun pese a ello, es necesario profundizar en su etiología, a fin de obtener un mejor conocimiento del trastorno que permita un mejor abordaje para los pacientes, ya que las interferencias con su vida diaria son importantes.

Esta revisión puede aportar una visión general más ordenada sobre las principales alteraciones estructurales y consecuentes afectaciones funcionales del TDAH, si bien no se ha podido realizar una exploración de la totalidad del encéfalo, especialmente del cerebro, debido a la extensión establecida para el trabajo – esto constituye la principal limitación del presente estudio. Esto sería conveniente para poder determinar la implicación de cada región en el trastorno con mayor precisión y así obtener una noción general sobre el encéfalo en el TDAH.

Conclusiones

El TDAH es un trastorno del desarrollo de naturaleza compleja y multifactorial, en cuya etiología se ven implicadas la interacción de factores genéticos y ambientales y las alteraciones estructurales en el cerebro, lo que da lugar a consecuencias en la funcionalidad de las personas que lo padecen. Estas dificultades se presentan en distintas áreas de la vida cotidiana de los pacientes, como la social, laboral o académica, interfiriendo con su desempeño en dichos ámbitos. Para hacerle frente, dado que actualmente se carece de un consenso sobre la causa exacta del trastorno, se dirige el tratamiento a la sintomatología que presenta el paciente.

En este trabajo se ha determinado, mediante la realización de una revisión bibliográfica, que las áreas del cerebro que se encuentran alteradas en el TDAH son la corteza prefrontal, la corteza motora primaria, los ganglios basales, el cuerpo caloso, la amígdala y el córtex cingulado anterior, así como el cerebelo. Además, se ha observado

que los pacientes de TDAH tienen, generalmente, un menor volumen cerebral, al igual que una maduración cortical más demorada.

A raíz de las alteraciones estructurales, los pacientes manifiestan alteraciones funcionales, las cuales se ha concluido que son déficits en la atención, especialmente en la atención selectiva y dividida y, moderadamente, en la sostenida; en diversas funciones ejecutivas; en la memoria, en particular en la memoria a largo plazo; en la motivación, donde prevalece el refuerzo inmediato y una orientación hacia las metas; y en la inhibición motora, incluidas las dificultades que se presentan en las habilidades motrices finas.

En adición a lo expuesto, el TDAH posee una alta heredabilidad, influenciada por los genes y el riesgo prenatal de la persona – se ha visto que la patogénesis del trastorno puede tener lugar como consecuencia de la interacción entre la genética y el entorno del individuo. Entre los factores de riesgo ambientales, se ha encontrado que la exposición a determinadas sustancias, las adversidades psicosociales y un nivel socioeconómico menor aumentan la probabilidad de que aparezca el TDAH en una persona.

Bibliografía

- American Psychiatric Association (APA). (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5th edition (DSM-5)*. American Psychiatric Publishing.
- Aminoff, M. J. y Daroff, R. B. (2014). *Encyclopedia of the Neurological Sciences*. (2nd ed.). Academic Press.
- André-Obadia, N., Zyss, J., Gavaret, M., Lefaucheur, J. P., Azabou, E., Boulogne, S., Guérit, J. M., McGonigal, A., Merle, P., Mutschler, V., Naccache, L., Sabourdy, C., Trébuchon, A., Tyvaert, L., Vercueil, L., Rohaut, B. y Delval, A. (2018). Recommendations for the use of electroencephalography and evoked potentials in comatose patients. *Neurophysiologie clinique*, 48(3), 143–169.
<https://doi.org/10.1016/j.neucli.2018.05.038>
- Banerjee, T. D., Middleton, F. y Faraone, S. V. (2007). Environmental risk factors for attention-deficit hyperactivity disorder. *Acta paediatrica*, 96(9), 1269–1274.
<https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.2007.00430.x>
- Barkley R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological bulletin*, 121(1), 65–94. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.121.1.65>
- Bhattacharjee, S., Kashyap, R., Abualait, T., Annabel Chen, S. H., Yoo, W. K. y Bashir, S. (2021). The Role of Primary Motor Cortex: More Than Movement Execution. *Journal of motor behavior*, 53(2), 258–274.
<https://doi.org/10.1080/00222895.2020.1738992>
- Bonath, B., Tegelbeckers, J., Wilke, M., Flechtner, H. H. y Krauel, K. (2018). Regional Gray Matter Volume Differences Between Adolescents With ADHD and Typically Developing Controls: Further Evidence for Anterior Cingulate Involvement. *Journal of attention disorders*, 22(7), 627–638.
<https://doi.org/10.1177/1087054715619682>
- Boot, N., Nevicka, B. y Baas, M. (2020). Creativity in ADHD: Goal-Directed Motivation and Domain Specificity. *Journal of attention disorders*, 24(13), 1857–1866. <https://doi.org/10.1177/1087054717727352>

- Brown, W. S., Panos, A. y Paul, L. K. (2020). Attention, impulsivity, and vigilance in agenesis of the corpus callosum. *Neuropsychology*, 34(7), 744–749.
<https://doi.org/10.1037/neu0000685>
- Castellanos, F. X., Giedd, J. N., Marsh, W. L., Hamburger, S. D., Vaituzis, A. C., Dickstein, D. P., Sarfatti, S. E., Vauss, Y. C., Snell, J. W., Lange, N., Kaysen, D., Krain, A. L., Ritchie, G. F., Rajapakse, J. C. y Rapoport, J. L. (1996). Quantitative brain magnetic resonance imaging in attention-deficit hyperactivity disorder. *Archives of general psychiatry*, 53(7), 607–616.
<https://doi.org/10.1001/archpsyc.1996.01830070053009>
- Castellanos, F. X. y Tannock, R. (2002). Neuroscience of attention-deficit/hyperactivity disorder: the search for endophenotypes. *Nature reviews. Neuroscience*, 3(8), 617–628. <https://doi.org/10.1038/nrn896>
- Chafee, M. V. y Heilbronner, S. R. (2022). Prefrontal cortex. *Current biology*, 32(8), R346–R351. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.02.071>
- Cubillo, A., Halari, R., Giampietro, V., Taylor, E. y Rubia, K. (2011). Fronto-striatal underactivation during interference inhibition and attention allocation in grown up children with attention deficit/hyperactivity disorder and persistent symptoms. *Psychiatry research*, 193(1), 17–27.
<https://doi.org/10.1016/j.psychresns.2010.12.014>
- Cubillo, A., Halari, R., Smith, A., Taylor, E. y Rubia, K. (2012). A review of fronto-striatal and fronto-cortical brain abnormalities in children and adults with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) and new evidence for dysfunction in adults with ADHD during motivation and attention. *Cortex*, 48(2), 194–215. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.04.007>
- Database Center for Life Science (DBCLS). (s.f.). Brodmann area 4 lateral [Fotografía]. BodyParts3D.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brodmann_area_4_lateral.jpg
- Database Center for Life Science (DBCLS). (2010). Prefrontal cortex (left) - lateral view [Fotografía]. BodyParts3D.
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=32490636>

- Dickstein, S. G., Bannon, K., Castellanos, F. X. y Milham, M. P. (2006). The neural correlates of attention deficit hyperactivity disorder: an ALE meta-analysis. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines*, 47(10), 1051–1062. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2006.01671.x>
- Drechsler, R., Brem, S., Brandeis, D., Grünblatt, E., Berger, G. y Walitza, S. (2020). ADHD: Current Concepts and Treatments in Children and Adolescents. *Neuropediatrics*, 51(5), 315–335. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1701658>
- Faraone, S. V. y Larsson, H. (2019). Genetics of attention deficit hyperactivity disorder. *Molecular psychiatry*, 24(4), 562–575. <https://doi.org/10.1038/s41380-018-0070-0>
- Feldman, R. S. (2005). *Psicología con aplicaciones en países de habla hispana*. (8ª ed.). McGraw Hill.
- Forde, N. J., Zwiers, M. P., Naaijen, J., Akkermans, S. E. A., Openneer, T. J. C., Visscher, F., Dietrich, A., Buitelaar, J. K. y Hoekstra, P. J. (2017). Basal ganglia structure in Tourette's disorder and/or attention-deficit/hyperactivity disorder. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society*, 32(4), 601–604. <https://doi.org/10.1002/mds.26849>
- Frodl, T. y Skokauskas, N. (2012). Meta-analysis of structural MRI studies in children and adults with attention deficit hyperactivity disorder indicates treatment effects. *Acta psychiatrica Scandinavica*, 125(2), 114–126. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.2011.01786.x>
- Gilbert, D. L., Huddleston, D. A., Wu, S. W., Pedapati, E. V., Horn, P. S., Hirabayashi, K., Crocetti, D., Wassermann, E. M. y Mostofsky, S. H. (2019). Motor cortex inhibition and modulation in children with ADHD. *Neurology*, 93(6), e599–e610. <https://doi.org/10.1212/WNL.00000000000007899>
- Gizer, I. R., Ficks, C. y Waldman, I. D. (2009). Candidate gene studies of ADHD: a meta-analytic review. *Human genetics*, 126(1), 51–90. <https://doi.org/10.1007/s00439-009-0694-x>
- Guzmán-Ramírez, W. G., Ríos-Martínez, L., Abundis-Gutierrez, A., Vázquez-Moreno, A. y Villaseñor-Cabrera, T. J. (2018). Corteza del cíngulo anterior: Un área

imprescindible para el control cognitivo y emocional. *Archivos de ciencia*, 10(2), 30-34.

Hall, G. B. (2011). MRI anterior cingulate [Fotografía]. Hall, G. B.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MRI_anterior_cingulate.png

Hulvershorn, L. A., Mennes, M., Castellanos, F. X., Di Martino, A., Milham, M. P., Hummer, T. A. y Roy, A. K. (2014). Abnormal amygdala functional connectivity associated with emotional lability in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 53(3), 351–61.e1.

<https://doi.org/10.1016/j.jaac.2013.11.012>

Hutchinson, A. D., Mathias, J. L. y Banich, M. T. (2008). Corpus callosum morphology in children and adolescents with attention deficit hyperactivity disorder: a meta-analytic review. *Neuropsychology*, 22(3), 341–349.

<https://doi.org/10.1037/0894-4105.22.3.341>

Kahl, C. K., Swansburg, R., Hai, T., Wrightson, J. G., Bell, T., Lemay, J. F., Kirton, A. y MacMaster, F. P. (2022). Differences in neurometabolites and transcranial magnetic stimulation motor maps in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of psychiatry & neuroscience: JPN*, 47(4), E239–E249.

<https://doi.org/10.1503/jpn.210186>

Kandel, E. R., Schwartz, J. H. y Jessell, T. M. (2001). *Principios de Neurociencia*. (4.^a ed.). McGraw-Hill Interamericana de España.

Kian, N., Samieefar, N. y Rezaei, N. (2022). Prenatal risk factors and genetic causes of ADHD in children. *World journal of pediatrics*, 18(5), 308–319.

<https://doi.org/10.1007/s12519-022-00524-6>

Kofler, M. J., Singh, L. J., Soto, E. F., Chan, E. S. M., Miller, C. E., Harmon, S. L. y Spiegel, J. A. (2020). Working memory and short-term memory deficits in ADHD: A bifactor modeling approach. *Neuropsychology*, 34(6), 686–698.

<https://doi.org/10.1037/neu0000641>

LeDoux, J. (2007). The amygdala. *Current biology*, 17(20), R868–R874.

<https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.08.005>

- Leevanjackson y Oxilium. (2011). Basal Ganglia and Related Structures es [Fotografía].
Basal Ganglia and Related Structures.svg.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Basal_Ganglia_and_Related_Structures_es.svg
- Life Science Databases (LSDB). (2009). Amygdala [Fotografía]. Anatomography.
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Amygdala.png>
- Life Science Databases (LSDB). (2009). Cerebellum [Fotografía]. Anatomography.
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cerebellum.png>
- Life Science Databases (LSDB). (2009). Corpus callosum [Fotografía].
Anatomography.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Corpus_callosum.png
- Lin, Q., Bu, X., Chen, H., Liang, Y., Wang, W., Yi, Y., Lin, H., Lu, L., Gao, Y., Qian, A., Chen, S., Wang, M., Huang, X. y Yang, C. (2022). Sex differences in microstructural alterations in the corpus callosum tracts in drug-naïve children with ADHD. *Brain imaging and behavior*, 16(4), 1592–1604.
<https://doi.org/10.1007/s11682-021-00556-y>
- Mahone, E. y Denckla, M. (2017). Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A Historical Neuropsychological Perspective. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 23(9-10), 916–929.
<https://doi.org/10.1017/S1355617717000807>
- Martínez, N., Albaladejo, E., Espín, J. C., Güerre, M. J., Sánchez, J. y Jiménez, J. L. (2015). Etiología y patogenia del trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH). *Rev. esp. pediatr.*, 71(2), 62-68.
- Miao, S., Han, J., Gu, Y., Wang, X., Song, W., Li, D., Liu, Z., Yang, J. y Li, X. (2017). Reduced Prefrontal Cortex Activation in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder during Go/No-Go Task: A Functional Near-Infrared Spectroscopy Study. *Frontiers in neuroscience*, 11, 367.
<https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00367>
- Miller, E. K., Freedman, D. J. y Wallis, J. D. (2002). The prefrontal cortex: categories, concepts and cognition. *Philosophical transactions of the Royal Society of*

London. Series B, Biological sciences, 357(1424), 1123–1136.

<https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1099>

Mohamed, S. M. H., Butzbach, M., Fuermaier, A. B. M., Weisbrod, M., Aschenbrenner, S., Tucha, L. y Tucha, O. (2021). Basic and complex cognitive functions in Adult ADHD. *PloS one*, 16(9), e0256228.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256228>

Mokobane, M., Pillay, B. J. y Meyer, A. (2019). Fine motor deficits and attention deficit hyperactivity disorder in primary school children. *The South African journal of psychiatry*, 25, 1232. <https://doi.org/10.4102/sajpsychiatry.v25i0.1232>

Pérez, M. A., Molina, D. y Gómez, M. (2016). La intervención neuropsicológica en el tratamiento interdisciplinar para el TDAH. *Neuropsicología*, 1(2), 14-29.

Piñón, A., Carballido, E., Vázquez, E., Fernandes, S., Gutiérrez, O. y Spuch, C. (2019). Rendimiento neuropsicológico de niños y niñas con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH). *Cuadernos de Neuropsicología/Panamerican Journal of Neuropsychology*, 13(1), 116-131.

<http://dx.doi.org/10.7714/CNPS/13.1.206>

Qiu, A., Crocetti, D., Adler, M., Mahone, E. M., Denckla, M. B., Miller, M. I. y Mostofsky, S. H. (2009). Basal ganglia volume and shape in children with attention deficit hyperactivity disorder. *The American journal of psychiatry*, 166(1), 74–82. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2008.08030426>

Rains, G. D. y Campos, V. (2004). *Principios de neuropsicología humana*. McGraw-Hill Interamericana.

Riva, D., Taddei, M. y Bulgheroni, S. (2018). The neuropsychology of basal ganglia. *European journal of paediatric neurology*, 22(2), 321–326.

<https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2018.01.009>

Rolls, E. T. (2019). The cingulate cortex and limbic systems for emotion, action, and memory. *Brain structure & function*, 224(9), 3001–3018.

<https://doi.org/10.1007/s00429-019-01945-2>

- Rubia, K., Alegría, A. A. y Brinson, H. (2014). Anomalías cerebrales en el trastorno por déficit de atención/hiperactividad: una revisión. *Revista de neurología*, 58(Supl. 1), S3-S18. <https://doi.org/10.33588/rn.58S01.2013570>
- Shaw, P., Eckstrand, K., Sharp, W., Blumenthal, J., Lerch, J. P., Greenstein, D., Clasen, L., Evans, A., Giedd, J. y Rapoport, J. L. (2007). Attention-deficit/hyperactivity disorder is characterized by a delay in cortical maturation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(49), 19649–19654. <https://doi.org/10.1073/pnas.0707741104>
- Siffredi, V., Wood, A. G., Leventer, R. J., Vaessen, M., McIlroy, A., Anderson, V., Vuilleumier, P. y Spencer-Smith, M. M. (2019). Anterior and posterior commissures in agenesis of the corpus callosum: Alternative pathways for attention processes? *Cortex*, 121, 454–467. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2019.09.014>
- Skodzik, T., Holling, H. y Pedersen, A. (2017). Long-Term Memory Performance in Adult ADHD. *Journal of attention disorders*, 21(4), 267–283. <https://doi.org/10.1177/1087054713510561>
- Soloviova, Y., Torrado, O. E., Maravilla, L. y Rivas, X. (2017). Análisis neuropsicológico diferencial en dos casos diagnosticados con TDAH. *Informes psicológicos*, 17(1), 121-141. <https://doi.org/10.18566/infpsic.v17n1a07>
- Stoodley C. J. (2016). The Cerebellum and Neurodevelopmental Disorders. *Cerebellum*, 15(1), 34–37. <https://doi.org/10.1007/s12311-015-0715-3>
- Tajima-Pozo, K., Yus, M., Ruiz-Manrique, G., Lewczuk, A., Arrazola, J. y Montañes-Rada, F. (2018). Amygdala Abnormalities in Adults With ADHD. *Journal of attention disorders*, 22(7), 671–678. <https://doi.org/10.1177/1087054716629213>
- Tripp, G. y Wickens, J. R. (2009). Neurobiology of ADHD. *Neuropharmacology*, 57(7-8), 579–589. <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2009.07.026>
- Vaidya C. J. (2012). Neurodevelopmental abnormalities in ADHD. *Current topics in behavioral neurosciences*, 9, 49–66. https://doi.org/10.1007/7854_2011_138
- Valera, E. M., Faraone, S. V., Biederman, J., Poldrack, R. A. y Seidman, L. J. (2005). Functional neuroanatomy of working memory in adults with attention-

- deficit/hyperactivity disorder. *Biological psychiatry*, 57(5), 439–447.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2004.11.034>
- Valera, E. M., Faraone, S. V., Murray, K. E. y Seidman, L. J. (2007). Meta-analysis of structural imaging findings in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological psychiatry*, 61(12), 1361–1369. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.06.011>
- Willcutt, E. G., Doyle, A. E., Nigg, J. T., Faraone, S. V. y Pennington, B. F. (2005). Validity of the executive function theory of attention-deficit/hyperactivity disorder: a meta-analytic review. *Biological psychiatry*, 57(11), 1336–1346.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.02.006>
- Wolf, R. C., Plichta, M. M., Sambataro, F., Fallgatter, A. J., Jacob, C., Lesch, K. P., Herrmann, M. J., Schönfeldt-Lecuona, C., Connemann, B. J., Grön, G. y Vasic, N. (2009). Regional brain activation changes and abnormal functional connectivity of the ventrolateral prefrontal cortex during working memory processing in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Human brain mapping*, 30(7), 2252–2266. <https://doi.org/10.1002/hbm.20665>
- Wu, Z. M., Bralten, J., Cao, Q. J., Hoogman, M., Zwiers, M. P., An, L., Sun, L., Yang, L., Zang, Y. F., Franke, B. y Wang, Y. F. (2017). White Matter Microstructural Alterations in Children with ADHD: Categorical and Dimensional Perspectives. *Neuropsychopharmacology*, 42(2), 572–580.
<https://doi.org/10.1038/npp.2016.223>
- Yang, D. Y., Chi, M. H., Chu, C. L., Lin, C. Y., Hsu, S. E., Chen, K. C., Lee, I. H., Chen, P. S. y Yang, Y. K. (2019). Orbitofrontal dysfunction during the reward process in adults with ADHD: An fMRI study. *Clinical neurophysiology*, 130(5), 627–633. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.01.022>
- Yang, Y. y Raine, A. (2009). Prefrontal structural and functional brain imaging findings in antisocial, violent, and psychopathic individuals: a meta-analysis. *Psychiatry research*, 174(2), 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.psychresns.2009.03.012>
- Yang, Y., Yang, B., Zhang, L., Peng, G. y Fang, D. (2021). Dynamic Functional Connectivity Reveals Abnormal Variability in the Amygdala Subregions of Children With Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Frontiers in neuroscience*, 15, 648143. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.648143>