

Capacidad predictiva de la proporción theta/beta respecto a la sintomatología del TDAH en menores con dificultades académicas

FERNANDO ALCARAZ-MENDOZA^{1,2} Y GUILLERMO VEGA-OCEGUERA^{1,2}

¹Laboratorio de Psiconeuroinmunología del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), ²Instituto de Neuropsicología y Neurociencia Aplicada (INNA)

Cómo citar este artículo (estilo APA) / Citing this article (APA style):

Alcaraz-Mendoza, F., & Vega Ocegüera, G. (2022). Capacidad predictiva de la proporción Theta/Beta respecto de la sintomatología del TDAH en menores con dificultades académicas. *Revista Mexicana de Investigación en Psicología*, 14(1), 67-80.

Resumen

La heterogeneidad identificada en la sintomatología de personas con diagnóstico de trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) ha provocado que el proceso de detección pueda llegar a ser impreciso e incrementa las posibilidades de dar falsos positivos, lo que ha generado la necesidad de identificar parámetros que permitan evaluaciones clínicas más certeras. Esta investigación tuvo como objetivo explorar la capacidad de predicción de la proporción theta/beta en regiones centro-frontales respecto a la sintomatología del TDAH. Se trabajó con 69 niños y adolescentes (ambos sexos) con dificultades académicas, a quienes se les realizó registro electroencefalográfico, el cual fue contrastado con los resultados de un cuestionario observacional respondido por padres y maestros basado en los parámetros indicados por el DSM-5. Se llevaron a cabo pruebas de regresión en las que se observa que la proporción theta/beta predice de forma débil, pero significativa, la variabilidad de los síntomas de inatención, aunque no sucede lo mismo con los elementos de hiperactividad. Los resultados llevan a considerar que esta variable neurofisiológica facilita el reconocer variaciones del funcionamiento atencional, pero el tamaño del efecto en la predicción sugiere que hay múltiples factores que ejercen influencia sobre la aparición de la sintomatología.

Dirigir toda correspondencia al autor a la siguiente dirección:

Fernando Alcaraz Mendoza

ITESO A.C. / INNA

biossfer@iteso.mx

RMIP 2022, Vol. 14, Núm. 1, pp. 67-80.

www.revistamexicanadeinvestigacionenpsicologia.com

Derechos reservados ©RMIP

Palabras clave: TDAH, proporción theta/beta, electroencefalograma cuantitativo, DSM-5, maduración cerebral

Capacidad predictiva de la proporción theta/beta respecto a la sintomatología del TDAH en menores con dificultades académicas

Abstract

The heterogeneity identified in the symptomatology of people diagnosed with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) has caused the detection process to be imprecise and increases the chances of false positives, which has generated the need to detect parameters that allow more accurate clinical evaluations. The aim of this research was to explore the predictive capacity of the Theta/Beta ratio in central-frontal regions with respect to ADHD symptomatology. We worked with 69 children and adolescents (both sexes) with academic difficulties, who underwent electroencephalographic recording which was cross referenced with the results of an observational questionnaire answered by parents and teachers based on the parameters indicated by the DSM-5. Regression tests were performed, showing that the Theta/Beta ratio is a weak but significant predictor of the variability of inattention symptoms, although the same does not occur with hyperactivity elements. The results lead to consider that this neurophysiological variable allows identifying variations in attentional functioning, but the size of the effect on prediction suggests that there are multiple factors influencing the appearance of symptomatology.

Keywords: ADHD, Theta/Beta ratio, quantitative electroencephalogram, DSM-5, brain development

¿QUÉ ES EL TDAH?

El trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) es reconocido como un trastorno del neurodesarrollo (Mahone y Deckla, 2017) caracterizado por dificultades para regular la atención, inquietud, impulsividad y para planificar y regular atención, entre otras limitaciones asociadas al funcionamiento ejecutivo (Spetie y Arnold, 2018). A pesar de que existen indicadores cada vez más precisos sobre el perfil cognitivo, las competencias de regulación emocional y de los sustratos neurofisiológicos asociados (Nigg et al., 2020), la heterogeneidad en el proceso de diagnóstico aún es evidente y se requiere mucha investigación para resolverse.

PROCESO DIAGNÓSTICO Y CONTROVERSIAS ASOCIADAS

Para su detección, el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales 5 (DSM-5) solicita al

equipo clínico que identifique si en la conducta de niños y adolescentes se han presentado seis o más síntomas de nueve disponibles en las categorías de “inatención” o “hiperactividad” (véase tabla 1). Si se presentan estos elementos antes de los doce años en más de un contexto durante un periodo de al menos seis meses y el patrón conductual no puede ser explicado mejor por una propensión al desafío, a la hostilidad o una incapacidad para comprender instrucciones, se puede asignar el diagnóstico de TDAH predominantemente inatento, predominantemente hiperactivo o combinado (American Psychiatric Association, 2014). En esta edición del manual (y como cambio radical respecto a lo planteado en la cuarta edición), se propone entender este trastorno como un continuo que integra muchas posibles configuraciones clínicas (Nigg et al., 2020) a fin de poder dar sentido al alto grado de variabilidades entre los perfiles detectados.

Tabla 1. Síntomas de inatención e hiperactividad considerados para TDAH en el DSM-5

Inatención	Hiperactividad
Con frecuencia falla en prestar la debida atención a detalles o por descuido se cometen errores en las tareas escolares, en el trabajo o durante otras actividades	Con frecuencia juguetea con o golpea las manos o los pies o se retuerce en el asiento
Con frecuencia tiene dificultades para mantener la atención en tareas o actividades recreativas	Con frecuencia se levanta en situaciones en que se espera que permanezca sentado
Con frecuencia parece no escuchar cuando se le habla directamente	Con frecuencia corretea o trepa en situaciones en las que no resulta apropiado
Con frecuencia no sigue las instrucciones y no termina las tareas escolares	Con frecuencia es incapaz de jugar o de ocuparse tranquilamente en actividades recreativas
Con frecuencia tiene dificultad para organizar tareas y actividades	Con frecuencia está ocupado, actuando como si “lo impulsara un motor”
Con frecuencia evita, le disgusta o se muestra poco entusiasta en iniciar tareas	Con frecuencia habla excesivamente
Con frecuencia pierde cosas necesarias para tareas o actividades	Con frecuencia responde inesperadamente o antes de que haya concluido una pregunta
Con frecuencia se distrae con facilidad por estímulos externos	Con frecuencia le es difícil esperar su turno
Con frecuencia olvida las actividades cotidianas	Con frecuencia interrumpe o se inmiscuye con otros

En la actualidad existe controversia sobre la precisión en los métodos de detección, ya que los especialistas debaten si este padecimiento se encuentra sobrediagnosticado, subdiagnosticado o maldiagnosticado (Manos et al., 2017). A pesar de que la propuesta dimensional del DSM permite dar explicaciones a las marcadas diferencias entre casos con el mismo diagnóstico, la realidad es que este abordaje aún depende mucho de la sintomatología listada y no tiene elaboraciones detalladas sobre los niveles de severidad (Spetic y Arnold, 2018), algo que también es favorecido por el hecho de que las evaluaciones neuropsicológicas, conductuales y las mediciones neurofisiológicas son catalogadas como complementarias. En este sentido, Apps y Pflugradt (2010) son contundentes: “La falta de categorías diagnósticas específicas para varios tipos de déficits ejecutivos usualmente provoca que el TDAH se convierta en el diagnóstico por default”.

EVALUACIÓN NEUROPSICOLÓGICA

Debido a que es considerado un problema del neurodesarrollo, la exploración de los diferentes perfiles clínicos se ha recargado cada vez más en herramientas que pertenecen al campo de la neuropsicología y la neurociencia aplicada. El uso de pruebas neuropsicológicas ha buscado establecer subgrupos a partir de variaciones en la resolución de tareas de memoria de trabajo, control inhibitorio, aversión a la demora, velocidad de procesamiento, planeación, tareas de respuesta continua y de cognición social (Coghill et al., 2014; Pievsky y McGrath, 2018) entre muchas otras, lo que se ha atribuido tanto a problemas de control *top-down* (Egeland et al., 2010) como de procesamiento básico (Salum et al., 2014). A pesar de la evidencia sobre oscilaciones en competencias neuropsicológicas, la elaboración de clusters aún no se ha alcanzado a consecuencia de la falta de consenso en metodologías de investigación y hallazgos.

Por su parte, los estudios de neuroimagen estructural sugieren que hay una disminución en el volumen cerebral global de personas con TDAH (Nakao et al., 2011), en adición a reducción en globo pálido, putamen y corteza anterior del cíngulo (Frodl y Skokauskas, 2012), mientras que estudios de resonancia magnética funcional suelen indicar hipoactivación en corteza prefrontal dorsolateral y orbitofrontal (Dickstein et al., 2006), en áreas parietales (Cortese et al., 2012; Hart et al., 2013) y en cerebelo (Hart et al., 2013). Sin embargo, un metaanálisis muy riguroso realizado por Samea y colaboradores (2019) en el que se busca integrar datos de alteraciones tanto

estructurales como funcionales arroja que hay una ausencia de convergencia en las regiones cerebrales que podrían explicar los elementos clínicos de este trastorno, por lo que todavía se requiere mucha investigación para poder definir redes neurales asociadas con el TDAH.

USO DEL ELECTROENCEFALOGRAMA CUANTITATIVO PARA EL DIAGNÓSTICO

La exploración de la actividad eléctrica cerebral en personas con diagnóstico de TDAH es una práctica clínica con un amplio historial (Nigg et al., 2020), que cada vez más se centra en el uso del electroencefalograma cuantitativo (QEEG), el cual consiste en descomponer el registro en función de rangos o cortes de frecuencias para representar estados de respuesta e indicadores de maduración cerebral. Es importante considerar que la complejidad en la precisión espacial en el registro del electroencefalograma cuantitativo implica que la multiplicidad de electrodos resulte ventajosa en términos predictivos (Ferree et al., 2001), por lo que se ajusta bien con la heterogeneidad en la electrofisiología del TDAH previamente reportada (Bussalib et al., 2019).

Los resultados de las investigaciones basadas en el QEEG también han reflejado una diversidad de perfiles que impiden plantear, hasta el momento, la existencia de indicadores específicos de cambios electrofisiológicos con valor predictivo. Un estudio elaborado por Loo y colaboradores (2017) realizó registros de electroencefalografía en reposo a 781 niños (620 con TDAH y 121 controles) entre 6 y 18 años con la intención de identificar subgrupos. Los datos obtenidos permitieron construir cinco categorías a partir de las diferencias en las elevaciones de potencia: alteraciones en la banda delta (30%), theta (23%), alfa (20%), beta (7%) y sin incremento evidenciable (20%), y cada una de estas se logró asociar con el rendimiento en tareas cognitivas (memoria de trabajo, atención sostenida y tiempo de reacción) y con patrones conductuales clínicos (trastornos internalizados y externalizados). Esto sugiere que el registro de la varianza que permite el QEEG puede ser particularmente eficiente para formular subtipos de actividad eléctrica cerebral que correlacionen con mayor precisión con el rendimiento en tareas neuropsicológicas (Thatcher, 2010).

PROPORCIÓN THETA/BETA Y TDAH

Diversos estudios han identificado una relación importante entre la proporción de la potencia generada

en reposo en la banda de theta (4-8 Hz) y la potencia producida en la banda de beta (13-20 Hz), mejor conocida como proporción theta/beta, en regiones centro-frontales de la línea media, con la sintomatología del TDAH (Arns et al., 2011). También encontraron vínculos con el nivel de alertamiento (Halawa et al., 2017), la capacidad de procesamiento cognitivo (Clarke et al., 2019), control atencional (Angelidis et al., 2016) y con tendencia a la impulsividad (Bluschke et al., 2016). El vínculo entre ambas puede deberse a que una medida elevada refleja que el flujo sanguíneo y el consumo de glucosa se encuentran disminuidos en la zona de registro (Halawa et al., 2017), lo que deriva en una interferencia del funcionamiento de áreas cerebrales involucradas en procesamiento cognitivo complejo. Sin embargo, la estabilidad de esta asociación ha sido variable (Ogrim et al., 2012; Gloss et al., 2016), lo que impide elaborar una valoración certera de la fiabilidad de la proporción como un indicador que sea útil para el diagnóstico de TDAH.

La necesidad de estudiar marcadores neuropsicológicos que permitan desarrollar parámetros de diagnóstico más certeros se sustenta en que hay un incremento significativo en las tasas de identificación de TDAH en diferentes países (Taylor, 2006), por lo que es crucial contar con abordajes que disminuyan la tendencia a patologizar comportamientos convencionales (Colaneri et al., 2018) y que contribuyan a la detección temprana para dar un acompañamiento pertinente. El uso de metodologías de alta sensibilidad como el QEEG ofrece oportunidades para registrar variaciones que no son fácilmente detectables por otras herramientas clínicas con un costo mucho menor en comparación con lo que implica la aplicación de técnicas de neuroimagen.

OBJETIVO

El objetivo de esta investigación es identificar la capacidad predictora que la proporción theta/beta en regiones centro-frontales de la línea media (Fz y Cz) tienen respecto a la sintomatología de TDAH reportada en inventarios conductuales por padres y maestros de niños y adolescentes con antecedentes de dificultades académicas.

HIPÓTESIS

- La proporción theta/beta de ambas derivaciones será predictora tanto de las conductas de inatención como de las conductas de impulsividad, así como en su presentación combinada.

- La interacción entre derivaciones respecto a la proporción theta/beta incrementará la fuerza de la predicción de las conductas de inatención e hiperactividad en comparación con las regresiones parciales.

MÉTODO

DISEÑO

El estudio fue de tipo predictivo transversal con el propósito de evaluar capacidad predictora de la proporción theta/beta respecto a la sintomatología del TDAH reportada por padres y maestros. Este tipo de aproximaciones permite identificar elementos para hacer inferencias sobre las variables de interés con pocas mediciones (Ato et al., 2013).

El protocolo fue aprobado por el comité de ética del Laboratorio de Psicofisiología del Departamento de Psicología, Educación y Salud del Instituto de Estudios Tecnológicos y Superiores de Occidente (ITE-SO) y del comité de ética del Instituto de Neuropsicología y Neurociencia Aplicada, al considerar ambas instancias que, de acuerdo con la Ley General de Investigación en Salud, el protocolo cumplió con las bases indicadas en el artículo 14 y, además, fue clasificado como "sin riesgo" según el correspondiente artículo 17.

PARTICIPANTES

En este estudio colaboraron 69 participantes (44% sexo femenino), con rango de edad entre los 6 y los 16 años ($M = 11.45$ años - $D.E. = 2.53$), y con niveles de escolaridad que van de primero de primaria a segundo año de preparatoria, remitidos por sus respectivas instituciones educativas para ser evaluados e intervenidos debido a bajo desempeño académico.

Tabla 2. Criterios de inclusión, no inclusión y exclusión

Inclusión	No inclusión	Exclusión
Entre 6 y 16 años	Presentar lesión cerebral	No seguir instrucciones verbales
Bajo rendimiento académico	Presentar diagnóstico previo de trastorno del estado de ánimo	Resistir a seguir indicaciones
Remitidos por sus instituciones educativas	Presentar diagnóstico de discapacidad intelectual	Presentar alteraciones en la marcha al momento de la evaluación
	Estar bajo tratamiento farmacológico	Negativa de padres y participantes a continuar la evaluación
	Retraso en la adquisición de lenguaje	
	No contar con la carta de consentimiento informado	

Aquí es importante mencionar que en este estudio no se consideró trabajar con participantes ya identificados con TDAH, porque el propósito es explorar la variación de la sintomatología asociada a este perfil por la proporción theta/beta antes de recibir un diagnóstico formal.

MATERIALES E INSTRUMENTOS

EVALUACIÓN DEL PERFIL CLÍNICO

Inventario conductual de la prueba Neuropsi atención y memoria: cuestionario compuesto por los 18 reactivos que permiten identificar la intensidad con la que se presentan los síntomas de inatención e hiperactividad previstos en el DSM para TDAH en el repertorio conductual de los participantes. Para llenar el cuestionario, se solicitó a los informantes (padres y maestros) que calificaran de cero a tres (ascendente) la magnitud con la que consideraron que se presentaba en el menor la descripción conductual correspondiente a cada inciso. Posteriormente, el equipo de investigadores cuantificó las respuestas para obtener un promedio por categoría y en total (Ostrosky et al., 2012) y ajustó para su cálculo estadístico los resultados a una escala de 1-4.

REGISTRO DE ACTIVIDAD ELÉCTRICA CEREBRAL

Se utilizó un polígrafo digital modelo Procomp Infinity, electrodos para registro electroencefalográfico marca GRASS, con disco de aleación de oro de 10 mm de diámetro, adheridos al cuero cabelludo con pasta conductora marca Ten/20, con previa limpieza de las zonas de registro con gel exfoliante y conductivo marca NuPrep. El registro del electroencefalograma se realizó colocan-

do electrodos en las zonas de registro Fz y Cz de acuerdo con el sistema internacional 10/20 (Trans Cranial Technologies, 2012), referenciados a ambas aurículas ligadas físicamente. Se establecieron los siguientes filtros: pasa altas a .5 Hz, pasa bajas a 62 Hz. y filtro Notch a 60 Hz. Durante todo el registro, la impedancia se mantuvo por debajo de los 5 KOhms.

PROCEDIMIENTO

Entre 2008 y 2013 se recibieron casos de diversas instituciones educativas en los que se solicita valoración clínica con cuestionario conductual y registro de actividad eléctrica cerebral, de los cuales 69 cumplieron con las características de inclusión previstas y realizaron el proceso completo.

Al inicio de la evaluación, se solicitó a padres y maestros seleccionados que contestaran el cuestionario de observación correspondiente, el cual fue regresado al equipo de investigación entre una y dos semanas después. A la par, se da cita en consultorio clínico a cada caso para la medición de actividad eléctrica cerebral. Aunque el registro se elabora en múltiples condiciones, en esta investigación solo se toman los datos obtenidos en la condición de reposo con ojos abiertos, ya que existe una posibilidad elevada de sesgo en el registro con ojos cerrados debido a dificultades en la cooperación en un porcentaje elevado (>50%) de los participantes durante el registro en esta condición. En el registro con ojos abiertos, se pide a los participantes que observaran un punto fijo durante cinco minutos e intentaran mantenerse en el estado de mayor relajación posible; al finalizar, se ofrece a cada niño un dulce, chocolate o pulsera. Todos los registros de actividad eléctrica cerebral fueron efectuados entre las 16 y las 18 horas; el horario se escogió para

evitar interferir en las actividades académicas y horario de sueño de los menores.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Primero se presentan promedios y desviaciones estándar tanto de los instrumentos de valoración clínica como de las medidas electrofisiológicas. Como medida de control, se realizan correlaciones (Pearson) entre los puntajes obtenidos de reportes de padres y maestros con el objetivo de evaluar la consistencia entre observadores.

Para evaluar la capacidad predictora de la proporción theta/beta en regiones centro-frontales de la línea media (Fz y Cz) sobre la sintomatología del TDAH reportada, se realizan dos pruebas de regresión lineal múltiple en la que se toman como variables predictoras las medidas electrofisiológicas y como variables dependientes, los puntajes promediados entre padres y maestros en inatención, impulsividad y combinados.

Para valorar el efecto de la edad sobre las variables, las regresiones lineales se llevaron a cabo tomando en cuenta factor edad en la ecuación (niños 6-11 años y adolescentes 12-16 años) y como predictores, las derivaciones de registro electroencefalográfico (Fz, Cz); el nivel de significancia estadística considerado para ambos análisis es $<.05$. El tamaño del efecto para las regresiones se determinó a partir de la f^2 (Cohen, 1992). Para los análisis estadísticos, se utiliza el programa de computadora JASP versión 0.16.4

Para evaluar la normalidad, se aplica la prueba Shapiro-Wilk. Únicamente las variables electrofisiológicas presentaron una distribución no paramétrica, de modo que, para su análisis, los datos fueron normalizados elevando los valores de las amplitudes (mV) al cuadrado y transformados a su vez en logaritmos naturales (Guevara y Hernández, 2006).

RESULTADOS

La tabla 3 presenta la intensidad promedio con la cual los padres valoran la inatención de los participantes, que es de 2.7 (D.E.=0.59), similar al 2.67 (D.E.=0.68) reportado por los maestros, mientras que los puntajes de hiperactividad/impulsividad registrados son de 2.22 (D.E.=0.62) y 2.16 (D.E.=0.72), respectivamente. Los promedios de la proporción theta/beta son 2.83 (D.E.=0.66) en derivación Fz y de 3.22 (D.E.=0.77) en derivación Cz.

En cuanto a los análisis de consistencia entre las observaciones de padres y maestros, se identifican asociaciones estadísticamente significativas en los indicadores de inatención ($r=.502$, $p<.001$) e impulsividad ($r=.532$, $p<.001$), lo que, de acuerdo con Schober y colaboradores (2018), implica un tamaño del efecto medio en la correlación. Esto sugiere que los evaluadores calificaron de forma similar la conducta de los participantes.

Tabla 3. Resultados descriptivos del instrumento de evaluación clínica y las medidas electrofisiológicas

	Edad	Esc.	Ina. (P)	Ina. (M)	Imp. (P)	Imp. (M)	Com.	Fz	Cz
Media	11.45	5.48	2.70	2.67	2.22	2.16	2.44	2.83	3.22
D.E.	2.53	2.59	0.60	0.68	0.62	0.72	0.51	0.66	0.77
Mín.	6.0	0.00	1.20	1.10	1.10	1.00	1.23	1.35	1.62
Máx.	16.00	12.00	4.00	4.00	3.80	4.00	3.43	4.76	6.67
Shapiro-Wilk			.984	.971	.973	.965	.98	.963	.919
P (Shapiro-Wilk)			.54	.11	.14	.06	.45	.04	<.001
Consistencia			Ina. $r=.502$, $p<.001$		Imp. $r=.532$, $p<.001$				

Nota: Escolaridad (Esc.), inatención (Ina.), impulsividad (Imp.), desviación estándar (D.E.), mínimo (Mín), máximo (Máx). Padres (P), maestros (M), valores combinados de inatención e impulsividad de padres y maestros (Com.).

Los valores de consistencia corresponden a la correlación (r de Pearson) entre los reportados por padres y maestros en inatención e impulsividad.

El análisis Shapiro-Wilk reveló una distribución no patamétrica para las variables electrofisiológicas; sin embargo, después del proceso de normalización, la prueba Shapiro-Wilk refleja una distribución normal (Fz: $W=.353$; $p=.6$; Cz: $W=.314$, $p=.96$).

Como se ve en las tablas 4.1 y 4.2, la capacidad predictiva de la proporción theta/beta sobre los síntomas de inatención solo logra niveles de significancia estadística cuando se integran ambas derivaciones, algo que no se observa en los análisis parciales. Sin embargo, el intercepto alcanza el nivel de significancia estadística.

Tabla 4.1. Resumen de resultados del modelo de regresión lineal múltiple (inatención en función de proporción theta/beta)

Modelo	R	R ²	R ² ajustada	RMSE	gl1	gl2	p
H ₁	.37	.133	.093	.528	3	65	.025

Nota: Los puntajes de inatención utilizados corresponden a los resultados promediados de los reportes de padres y maestros.

Por otra parte, el tamaño del efecto encontrado para la capacidad predictiva de las variables electrofisiológicas utilizadas respecto a las conductas de inatención

corresponde a un punto intermedio entre pequeño y moderado ($f^2=.10$) (Cohen, 1992).

Tabla 4.2. Coeficientes correspondientes a los resultados de las regresiones parciales (inatención en función de proporción theta/beta)

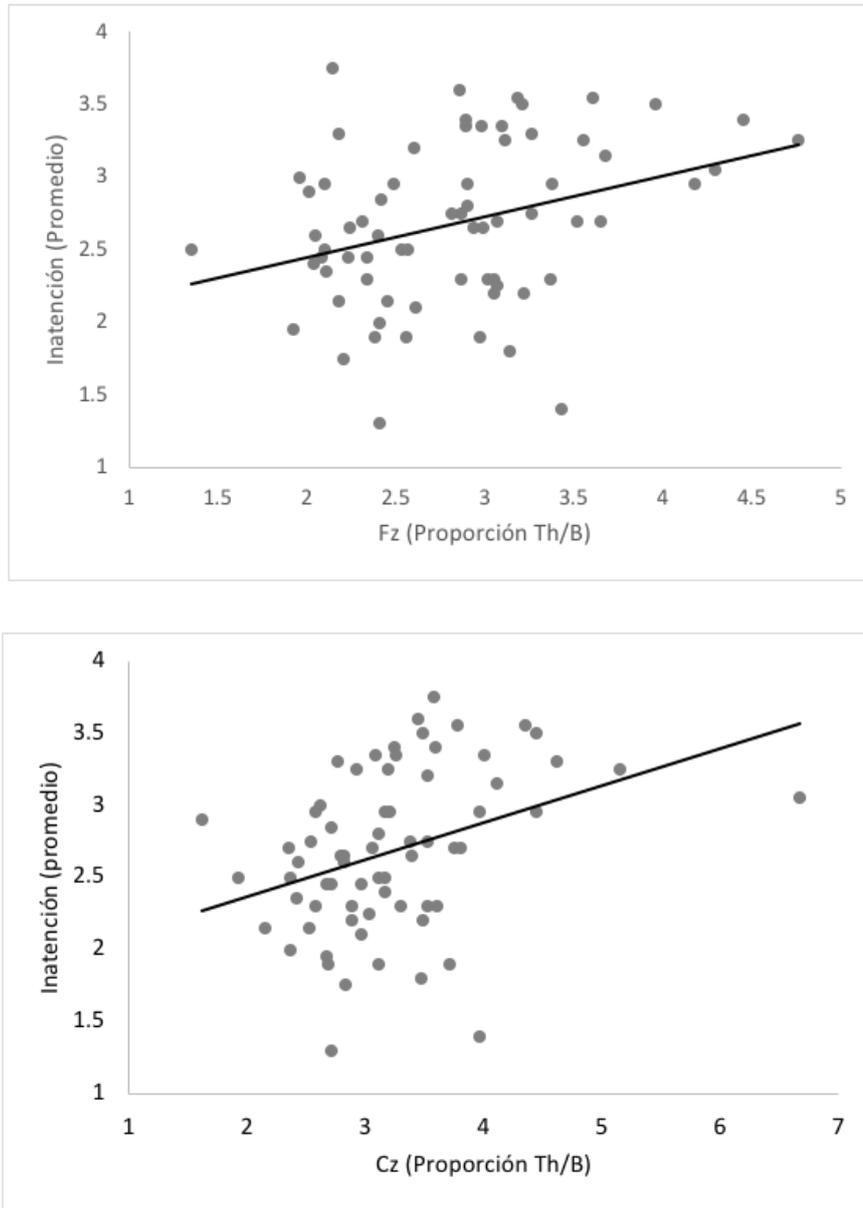
Modelo	No	R ² ajustada	RMSE	gl1	gl2
H ₁ (Intercepto)	1.703	0.374	4.555	< .001	
Fz	0.158	0.202	0.132	0.781	.437
Cz	0.300	0.216	0.245	1.392	.169
Edad (rango)	-0.051	0.135	-0.373	.710	

Nota: El factor rango de edad corresponde a los segmentos de niños (6-11 años) y adolescentes (12-16 años).

A pesar de que las regresiones parciales no alcanzan valores de significancia estadística, la tendencia de la línea de regresión de cada uno de estos es consistente con los

hallazgos identificados en el modelo predictivo múltiple (véase figura 1).

Figura 1. Regresiones parciales entre la proporción de la variable electrofisiológica y los puntajes de inatención de los participantes



Nota: Panel superior Fz y panel inferior Cz; en el eje horizontal se presentan los valores proporción Th/B (variable independiente) y en el eje vertical, los puntajes promediados de inatención (variable dependiente). Los valores mostrados en las gráficas corresponden a los datos antes del proceso de normalización.

Por su parte, las tablas 5.1 y 5.2 muestran los resultados del análisis de regresión múltiple entre la proporción theta/beta y los reportes de conductas de impulsividad, en los que se puede observar que los valores de predicción tanto en el modelo múltiple como en los análisis

parciales no alcanzan el nivel de significancia estadística esperado. Sin embargo, el factor rango de edad sí logra valores de significancia estadística en la predicción de los puntajes de impulsividad (véase tabla 5.2).

Tabla 5.1. Resumen de resultados del modelo de regresión lineal múltiple (impulsividad en función de proporción theta/beta)

Modelo	R	R ²	R ² ajustada	RMSE	gl1	gl2	p
H ₁	.37	.107	.066	.567	3	65	.059

Nota: Los puntajes de impulsividad utilizados corresponden a los resultados promediados de los reportes de padres y maestros.

El análisis de regresión indica que el intercepto es distinto a cero, y alcanza los valores de significancia estadística (véase tabla 5.2).

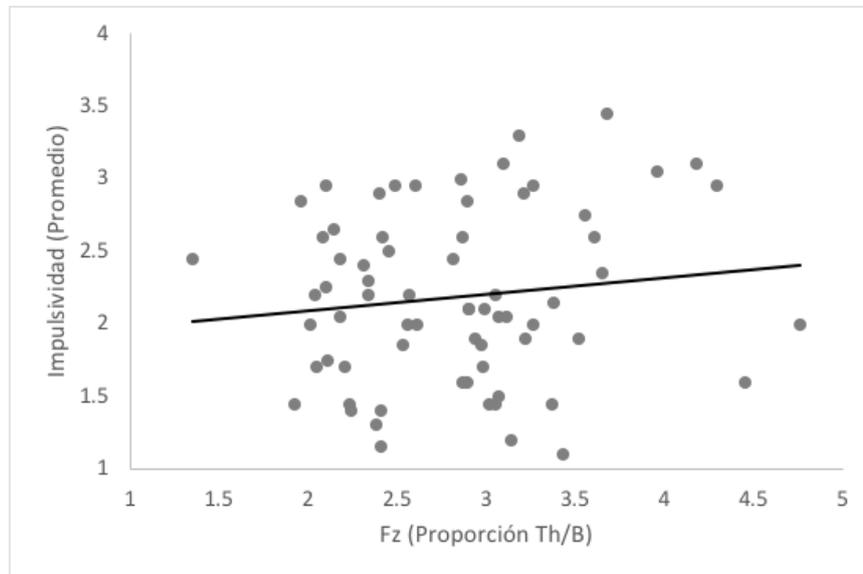
Tabla 5.2. Coeficientes correspondientes a los resultados del modelo de regresión lineal múltiple (impulsividad en función de proporción theta/beta)

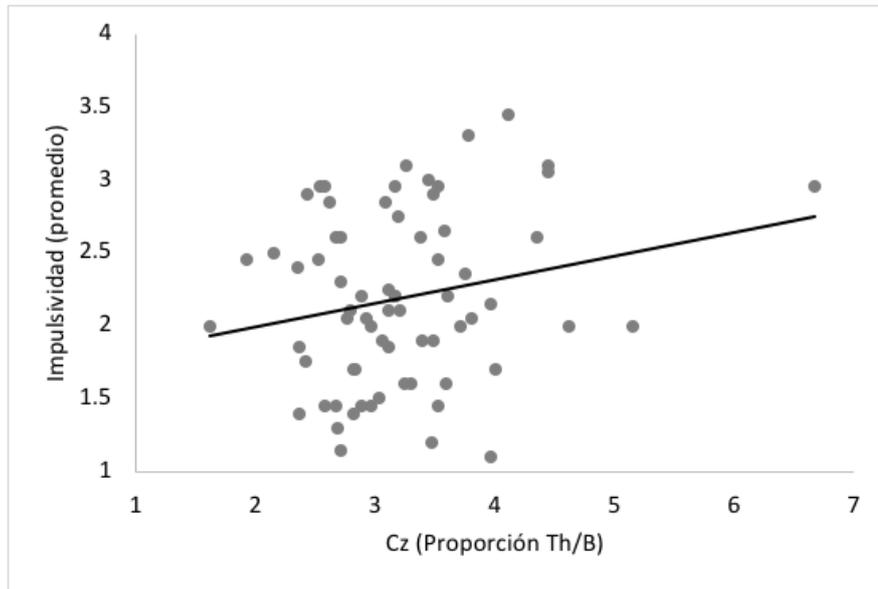
Modelo	No	R ² ajustada	RMSE	gl1	gl2
H ₁	(Intercepto)	2.044	0.071	5.094	< .001
	Fz	0.014	0.401	0.011	.947
	Cz	0.127	0.217	0.098	.585
	Edad (rango)	-0.329	0.145	-2.264	.027

Nota: El factor rango de edad corresponde a los segmentos de niños (6-11 años) y adolescentes (12-16 años).

A pesar de que ni el modelo global ni las regresiones parciales alcanzan valores de significancia estadística, la tendencia de la línea de regresión de cada uno de estos corresponde a lo esperado en las hipótesis (véase figura 2).

Figura 2. Regresiones parciales entre la proporción de la variable electrofisiológica y los puntajes de impulsividad de los participantes





Nota: Panel superior Fz y panel inferior Cz; en el eje horizontal se presentan los valores proporción Th/B (variable independiente) y en el eje vertical, los puntajes promediados de impulsividad (variable dependiente). Los valores mostrados en las gráficas corresponden a los datos antes del proceso de normalización.

De forma similar a los resultados derivados del análisis de los puntajes concernientes a las conductas de inatención (analizados en función de la proporción theta/beta), las tablas 6.1 y 6.2 muestran que la capacidad predictiva de la proporción theta/beta sobre los síntomas combina-

dos (inatención e impulsividad) solo alcanza niveles de significancia estadística cuando se integran ambas derivaciones y los análisis parciales únicamente evidencian un nivel de significancia estadística respecto del intercepto.

Tabla 6.1. Resumen de resultados del modelo de regresión lineal múltiple (puntajes combinados de inatención e impulsividad en función de proporción theta/beta)

Modelo	R	R ²	R ² ajustada	RMSE	gl1	gl2	p
H ₁	.346	.120	.079	.493	3	65	.039

Nota: Los puntajes combinados utilizados corresponden a los resultados promediados de los reportes de padres y maestros tanto de inatención como de impulsividad.

El tamaño del efecto detectado para la capacidad predictiva de las variables electrofisiológicas utilizadas respecto de las conductas combinadas de inatención e impulsivi-

dad equivale a un punto intermedio entre pequeño y moderado ($f^2=.09$).

Tabla 6.2. Coeficientes correspondientes a los resultados del modelo de regresión lineal múltiple (puntajes combinados de inatención e impulsividad en función de proporción theta/beta)

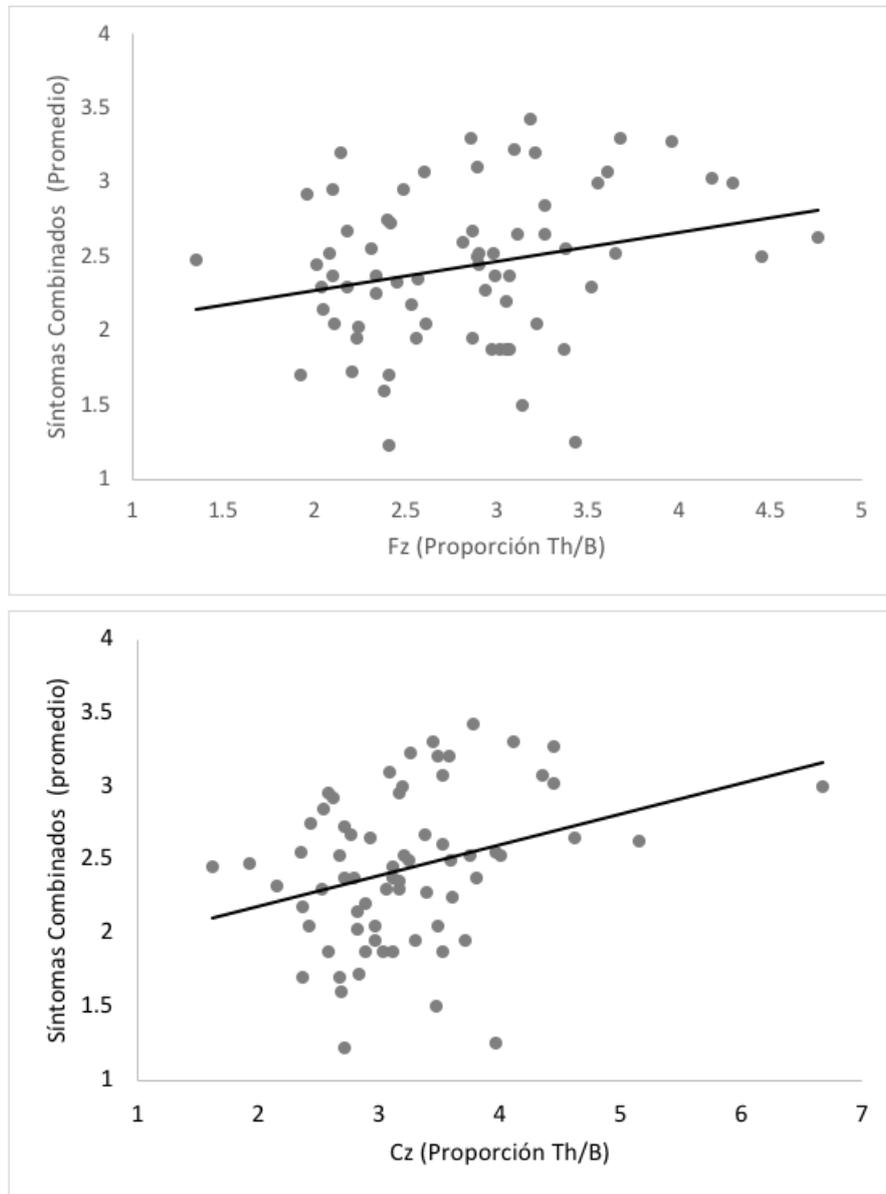
Modelo	No	R ² ajustada	RMSE	gl1	gl2
H ₁	(Intercepto)	1.874	0.349	5.371	< .001
	Fz	0.086	0.189	0.078	.649

Cz	0.214	0.201	0.188	1.062	.292
Edad (rango)	-0.190	0.126		-1.502	.138

Nota: El factor rango de edad corresponde a los segmentos de niños (6-11 años) y adolescentes (12-16 años).

A pesar de que las regresiones parciales no alcanzan valores de significancia estadística, la tendencia de la línea de regresión de cada uno de estas es consistente con los hallazgos identificados en el modelo predictivo múltiple (véase figura 3).

Figura 3. Regresiones parciales entre la proporción de la variable electrofisiológica y los puntajes de combinados de los participantes



Nota: Panel superior Fz y panel inferior Cz; en el eje horizontal se presentan los valores proporción Th/B (variable independiente) y en el eje vertical, los puntajes promediados de inatención e impulsividad (variable dependiente). Los valores mostrados en las gráficas corresponden a los datos antes del proceso de normalización.

DISCUSIÓN

El objetivo de la investigación fue identificar la capacidad predictora de la proporción theta/beta en regiones centro-frontales de la línea media (Fz y Cz) respecto de la sintomatología del TDAH reportada por padres y maestros de niños y adolescentes con antecedentes de dificultades académicas en población mexicana. En un inicio, se realizó un análisis de correlación entre los reportes de padres y maestros, el cual mostró estabilidad en los instrumentos al presentar correlaciones significativas moderadas entre observadores. En seguida, se evaluó la capacidad predictora de las variables electrofisiológicas, que resultó débil a moderada, pero significativa para las conductas de inatención, aunque no para las conductas de hiperactividad, de modo que la hipótesis se acepta solo para la primera variable dependiente. Por último, se admite la hipótesis sobre el nivel predictivo del modelo múltiple, ya que este sí alcanza valores estadísticamente significativos en comparación con los modelos de regresión parcial.

El hecho de que el valor predictivo sea modesto y de que solo alcance valores de significancia estadística en el modelo de regresión múltiple puede atribuirse a dos fuentes de variabilidad: una relacionada con los elementos fisiológicos del registro de actividad eléctrica cerebral y otra, con la heterogeneidad de la sintomatología prevista para TDAH en el DSM. La primera fuente de variabilidad identificada deriva de que el electroencefalograma presenta diferencias importantes entre personas; su distribución espacial es compleja y su análisis se hace más preciso a medida que se incrementa el número de derivaciones utilizado (Ferree et al., 2001). Este factor da claridad al hecho de que la predictibilidad alcance valores estadísticamente significativos solo cuando el predictor (derivaciones de registro del electroencefalograma) es múltiple. Entre las limitaciones de este estudio, resalta que el análisis del registro electrofisiológico comprendió dos derivaciones y una condición (ojos abiertos en reposo relativo), los inventarios conductuales fueron simples y la falta de pruebas cognitivas o de ejecución; además, la exploración se realizó con participantes sin un diagnóstico formal.

La segunda fuente de variabilidad hace referencia a la heterogeneidad de esquemas de clasificación que establecen listas de síntomas partiendo del supuesto de que hay manifestaciones comunes independientemente de la etiología. Una revisión sistemática realizada por Luo y colaboradores (2019) concluye que existe una marcada heterogeneidad en las dimensiones etiológicas,

de diagnóstico y en las competencias neurocognitivas asociadas a esta patología, por lo que se pueden esperar múltiples manifestaciones de perfiles clínicos.

Uno de los factores que añade relevancia a la exploración de la neurofisiología del TDAH recae en el costo biológico que conlleva el estar bajo un esquema farmacológico para el tratamiento; diversos autores (Storebø et al., 2018; Hennissen et al., 2017; McCarthy et al., 2018) han identificado alteraciones como incrementos en frecuencia cardíaca y en presión arterial diastólica y sistólica ante el uso de estimulantes en TDAH. Además, estos medicamentos administrados a temprana edad pueden provocar una disminución en la capacidad inhibitoria en el largo plazo a consecuencia de una disregulación gabaérgica (Solleveld et al., 2017).

Por otra parte, el hecho de que el factor edad fuese predictor significativo de impulsividad sugiere cambios en esta variable dependiente de maduración cronológica (Pan et al. 2021), y considerando el efecto de múltiples factores medioambientales que regulen el desarrollo cerebral y conductual (Hong et al. 2021), queda claro que es necesaria la exploración de las condiciones previas y vigentes en la evaluación de un menor con déficits en el desarrollo ejecutivo.

Los síntomas asociados a inatención e impulsividad divergen en cuanto a los recursos neuronales requeridos; por ejemplo, la red dorsal de atención estaría mayormente implicada en los síntomas de inatención, mientras que las porciones ventromediales de la corteza prefrontal juegan un papel importante en la autorregulación y control de impulsos. Estas diferencias podrían estar detrás de las oscilaciones en la capacidad predictiva de la variable electroencefalográfica utilizada respecto a las conductas de inatención e impulsividad (Chen et al., 2020).

CONCLUSIONES

La proporción theta/beta parece ser de utilidad para la predicción de conductas inatentas, pero no abona información relevante directa en la exploración clínica de problemas de hiperactividad e impulsividad. Ante esto, queda plantear si la mejor estrategia para explorar la presencia de los déficits asociados al TDAH es recurrir a la sintomatología propuesta por el DSM o si es necesario estudiar las variaciones de este indicador electrofisiológico en contraste con el rendimiento en pruebas neuropsicológicas o caracterizaciones conductuales más precisas (por ejemplo, problemas internalizados frente a problemas externalizados). Ampliar la evidencia que abone a especificar metodologías de evaluación en el TDAH puede contribuir a un mejor diagnóstico, así

como al uso adecuado y apropiado de tratamientos conductuales y farmacológicos.

Se sugiere replicar esta investigación utilizando una exploración electroencefalográfica de al menos 19 derivaciones, lo que permitiría un análisis de diferencias en la distribución topográfica y conectividad cerebral; de igual manera, incluir en ellas pruebas de desempeño cognitivo y participantes con diagnóstico formal en adición a un grupo control.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Psychiatric Association (2014). Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales (5 ed.). American Psychiatric Publishing.
- Angelidis, A., van der Does, W., Schakel, L. y Putman, P. (2016). Frontal EEG theta/beta ratio as an electrophysiological marker for attentional control and its test-retest reliability. *Biological Psychology*, 121, 49–52. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.09.008>
- Apps, J. N. y Pflugrad, D. (2010). He is not Working up to Potential": Atypical Attention Deficit Hyperactivity Disorder with Executive Weaknesses. En J. N. Apps, R.F. Newby y L. W. Roberts (eds). *Pediatric neuropsychology case studies*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-78965-1_16
- Arns, M., Conners, C. K. y Kraemer, H. C. (2011). A decade of EEG theta/beta ratio research in ADHD: A meta-analysis. *Journal of Attention Disorders*, 17(5), 374–383.
- Ato, M., López-García, J. J. y Benavente, A. (2013). Un sistema de clasificación de los diseños de investigación en psicología. *Anales de Psicología/Annals of Psychology*, 29(3), 1038–1059.
- Bluschke, A., Broschwitz, F. y Kohl, S. (2016). The neuronal mechanisms underlying improvement of impulsivity in ADHD by theta/beta neurofeedback. *Sci Rep*, 6 (31178). <https://doi.org/10.1038/srep31178>
- Bussal, A., Collin, S., Barthélemy, Q., Ojeda, D., Bioulac, S., Blasco-Fontecilla, H., Brandeis, D., Ouakil, D. P., Ros, T. y Mayaud, L. (2019). Is there a cluster of high theta-beta ratio patients in attention deficit hyperactivity disorder? *Clinical Neurophysiology*, 130(8), 1387–1396. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.02.021>
- Clarke, A. R., Barry, R. J., Karamacoska, D. y Johnstone, S. J. (2019). The EEG theta/beta ratio: A marker of arousal or cognitive processing capacity? *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 44(2), 123–129.
- Chen, M. H., Chen, Y. L., Bai, Y. M., Huang, K. L., Wu, H. J., Hsu, J. W. y Wu, Y. T. (2020). Functional connectivity of specific brain networks related to social and communication dysfunction in adolescents with attention-deficit hyperactivity disorder. *Psychiatry Research*, 284, 112785.
- Coghill, D. R., Seth, S. y Matthews, K. (2014). A comprehensive assessment of memory, delay aversion, timing, inhibition, decision making and variability in attention deficit hyperactivity disorder: Advancing beyond the three-pathway models. *Psychological Medicine*, 44(9), 1989–2001.
- Colaneri, N., Sheldon, M. y Adesman, A. (2018). Pharmacological cognitive enhancement in pediatrics. *Current Opinion in Pediatrics*, 30(3), 430–437. <https://doi.org/10.1097/mop.0000000000000615>
- Cortese, S., Kelly, C., Chabernaud, C., Proal, E., Di Martino, A., Milham, M. P. y Castellanos, F. X. (2012). Toward systems neuroscience of ADHD: A meta-analysis of 55 fMRI studies. *American Journal of Psychiatry*, 169(10), 1038–1055.
- Dickstein, S. G., Bannon, K., Xavier Castellanos, F. y Milham, M. P. (2006). The neural correlates of attention deficit hyperactivity disorder: An ALE meta-analysis. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47(10), 1051–1062.
- Egeland, J., Nordby Johansen, S. y Ueland, T. (2010). Do low-effort learning strategies mediate impaired memory in ADHD? *Journal of Learning Disabilities*, 43(5), 430–440.
- Ferree, T., Clay, M. y Tucker, D. (2001). The spatial resolution of scalp EEG. *Neurocomputing*, 38–40, 1209–1216. [https://doi.org/10.1016/s0925-2312\(01\)00568-9](https://doi.org/10.1016/s0925-2312(01)00568-9)
- 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.
- Gloss, D., Varma, J. K., Pringsheim, T. y Nuwer, M. R. (2016). Practice advisory: The utility of EEG theta/beta power ratio in ADHD diagnosis. *Neurology*, 87(22), 2375–2379. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000003265>
- Halawa, I. F., El Sayed, B. B., Amin, O. R., Meguid, N. A. y Kader, A. A. A. (2017). Frontal theta/beta ratio changes during TOVA in Egyptian ADHD children. *Neurosciences*, 22(4), 287–291. <https://doi.org/10.17712/nsj.2017.4.20170067>
- Hart, H., Radua, J., Nakao, T., Mataix-Cols, D. y Rubia, K. (2013). Meta-analysis of functional magnetic resonance imaging studies of inhibition and attention in attention-deficit/hyperactivity disorder: Exploring task-specific, stimulant medication, and age effects. *JAMA Psychiatry*, 70(2), 185–198.
- Hennissen, L., Bakker, M. J., Banaschewski, T., Carucci, S., Coghill, D., Danckaerts, M., Dittmann, R. W., Hollis, C., Kovshoff, H., McCarthy, S., Nagy, P., Sonuga-Barke, E., Wong, I. C. K., Zuddas, A., Rosenthal, E. y Buitelaar, J. K. (2017). Cardiovascular effects of stimulant and non-stimulant medication for children and adolescents with ADHD: A systematic review and meta-analysis of trials of methylphenidate, amphetamines and atomoxetine. *CNS Drugs*, 31(3), 199–215. <https://doi.org/10.1007/s40263-017-0410-7>
- Hong Hong, E. M. y Deckla, M. B. (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>

- Hong, S. J., Sisk, L. M., Caballero, C., Mekhanik, A., Roy, A. K., Milham, M. P. y Gee, D. G. (2021). Decomposing complex links between the childhood environment and brain structure in school-aged youth. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 48, 100919.
- Loo, S. K., McGough, J. J., McCracken, J. T. y Smalley, S. L. (2017). Parsing heterogeneity in attention-deficit hyperactivity disorder using EEG-based subgroups. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 59(3), 223-231. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12814>
- Luo, Y., Weibman, D., Halperin, J. M. y Li, X. (2019). A review of heterogeneity in attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *Frontiers in Human Neuroscience*, 13(42).
- Manos, M. J., Giuliano, K. y Geyer, E. (2017). ADHD: Overdiagnosed and overtreated, or misdiagnosed and mistreated? *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 84(11), 873-880. <https://doi.org/10.3949/ccjm.84a.15051>
- McCarthy, S., Neubert, A., Man, K. K. C., Banaschewski, T., Buitelaar, J., Carucci, S., Coghill, D., Dankaerts, M., Falissard, B., Garas, P., Häge, A., Hollis, C., Inglis, S., Kovshoff, H., Liddle, E., Mechler, K., Nagy, P., Rosenthal, E., Schlack, R. y Wong, I. C. K. (2018). Effects of long-term methylphenidate use on growth and blood pressure: Results of the German Health Interview and Examination Survey for Children and Adolescents (KiGGS). *BMC Psychiatry*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12888-018-1884-7>
- Nakao, T., Radua, J., Rubia, K. y Mataix-Cols, D. (2011). Gray matter volume abnormalities in ADHD: Voxel-based meta-analysis exploring the effects of age and stimulant medication. *American Journal of Psychiatry*, 168(11), 1154-1163.
- Nigg, J. T., Karalunas, S. L., Feczko, E. y Fair, D. A. (2020). Toward a revised nosology for attention-deficit/hyperactivity disorder heterogeneity. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 5(8), 726-737. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2020.02.005>
- Ogrim, G., Kropotov, J. y Hestad, K. (2012). The quantitative EEG theta/beta ratio in attention deficit/hyperactivity disorder and normal controls: Sensitivity, specificity, and behavioral correlates. *Psychiatry Research*, 198(3), 482-488.
- Ostrosky, F., Gómez, M., Matute, E., Rosselli, M., Ardila, A. y Pineda, D. (2012). *Neuropsi: atención y memoria* (2ª. ed.). Manual Moderno.
- Pan, N., Wang, S., Zhao, Y., Lai, H., Qin, K., Li, J. y Gong, Q. (2021). Brain gray matter structures associated with trait impulsivity: A systematic review and voxel-based meta-analysis. *Human Brain Mapping*, 42(7), 2214-2235.
- Pievsky, M. A. y McGrath, R. E. (2018). The neurocognitive profile of attention-deficit/hyperactivity disorder: A review of meta-analyses. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 33(2), 143-157.
- Salum, G. A., Sergeant, J., Sonuga-Barke, E., Vandekerckhove, J., Gadelha, A., Pan, P. M. y Rohde, L. A. P. (2014). Specificity of basic information processing and inhibitory control in attention deficit hyperactivity disorder. *Psychological Medicine*, 44(3), 617-631.
- Samea, F., Soluki, S., Nejati, V., Zarei, M., Cortese, S., Eickhoff, S. B. y Eickhoff, C. R. (2019). Brain alterations in children/adolescents with ADHD revisited: A neuroimaging meta-analysis of 96 structural and functional studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 100, 1-8.
- Schober, P., Boer, C. y Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: *Appropriate use and interpretation*. *Anesthesia & Analgesia*, 126(5), 1763-1768. doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864
- Solleveld, M. M., Schrantee, A., Puts, N. A. J., Reneman, L. y Lucassen, P. J. (2017). Age-dependent, lasting effects of methylphenidate on the GABAergic system of ADHD patients. *NeuroImage: Clinical*, 15, 812-818. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2017.06.003>
- Spetie, L. y Arnold, E. (2018). Attention deficit disorder. Lewi's child and adolescent psychiatry (A. Martin, A. Bloch y Volkmar H.M., eds.). Wolters Kluwer.
- Storebø, O. J., Pedersen, N., Ramstad, E., Kielsholm, M. L., Nielsen, S. S., Krogh, H. B., Moreira-Maia, C. R., Magnusson, F. L., Holmskov, M., Gerner, T., Skoog, M., Rosendal, S., Growth, C., Gillies, D., Buch Rasmussen, K., Gauci, D., Zwi, M., Kirubakaran, R., Håkonsen, S. J. y Gluud, C. (2018). Methylphenidate for attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) in children and adolescents-assessment of adverse events in non-randomised studies. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd012069.pub2>
- Taylor, E. (2016). Attention deficit hyperactivity disorder: Overdiagnosed or diagnoses missed? *Archives of Disease in Childhood*, 102(4), 376-379. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2016-310487>
- Thatcher, R. W. (2010). Validity and reliability of quantitative electroencephalography. *Journal of Neurotherapy*, 14(2), 122-152.
- Trans Cranial Technologies (2012). *10/20 System Positioning Manual*.

Recibido: 18 de Diciembre del 2021

Revisión final: 31 de Mayo del 2022

Aceptado: 27 de Septiembre del 2022