

C. Téllez-Villagra<sup>1,2</sup>   
A. González Pedraza Avilés<sup>3</sup> 

1. Departamento de Fisiología Facultad de Medicina UNAM, CDMX.  
2. Clínica de Especialidades de Neuropsiquiatría ISSSTE, CDMX.  
3. Departamento de Microbiología y Parasitología Facultad de Medicina UNAM, CDMX.

\*AUTOR DE CORRESPONDENCIA:

Carolina Téllez-Villagra MC  
Correo electrónico: 731967@comunidad.unam.mx ;  
carolinatellezvillagra@gmail.com

*Distribución cortical de la potencia absoluta de la actividad Beta 12Hz-25 Hz en niños varones con trastorno por déficit de atención e hiperactividad combinado*

*Cortical Distribution of Absolute Power of Beta Activity 12hz-25 Hz in Boys with Combined Attention Deficit Hyperactivity Disorder*

## RESUMEN

**Introducción:** El ritmo Beta del electroencefalograma cuantitativo (QEEG) está vinculado con inatención y alteraciones del movimiento. En niños con trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) se han reportado potencia absoluta (PA) con incremento en frecuencias lentas y disminución en rápidas especialmente Beta-total. **Objetivo:** Identificar la distribución cortical de PA disminuida o incrementada en el QEEG en reposo-ojos-cerrados de cada frecuencia Beta (12Hz-25Hz) como predictora de inatención visual o auditiva y de la iniciación e inhibición del movimiento en niños varones con TDAH de presentación combinada. **Material y Métodos:** Estudio retrospectivo (2008-2019) en 131 niños varones (6-14 años), diagnosticados de TDAH de presentación combinada. De cada niño, se obtuvieron 532 datos: PA + 2 de la norma (base Neuroguide), Beta (12-25Hz) en 19 derivaciones del QEEG se asociaron a inatención visual, auditiva y al movimiento (puntuación < 80 TOVA-Visual y Auditiva). **Resultados:** Se obtuvo una PA disminuida en 1738 derivaciones (81,5%); PA incrementada en 394 (18,48%). Beta 20-25Hz PA disminuida predominó en Frontal y Centro-témporo-occipital; 12-13Hz PA-incrementada en Parietal. Inatención visual

## ABSTRACT

**Introduction:** The Beta rhythm of the quantitative electroencephalogram (QEEG) is associated with inattention and movement disorders. In children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD), absolute-power (AP) with an increase in slow frequencies and a decrease in fast, especially Beta-total, has been reported. **Objective:** To identify the cortical distribution of PA decreased or increased in the QEEG at rest eyes closed of each Beta frequency (12Hz-25Hz) as predictor of visual or auditory and initiation or inhibition of movement inattention, in boys with combined ADHD. **Material and Methods:** Retrospective study (2008-2019) examining the medical records of 131 boys, 6-14 years, with a diagnosis of combined ADHD. For each, child 532 data were obtained: PA + 2 of the norm (Neuroguide base), Beta (12-25Hz) in 19 QEEG derivations were associated with visual, auditory and movement inattention (score <80 in TOVA-Visual-and-Auditory). **Results:** AP decreased in 1738 referrals (81.5%); AP-increased in 394 (18.48%), Beta 20-25Hz AP decreased predominated in Frontal and Central-temporal-occipital; 12-13Hz AP increased in Parietal. Visual inattention was lower than auditory. Visual Variability and Response Time characterized

más baja que auditiva. Variabilidad y Tiempo de Respuesta visual caracterizaron la mala ejecución. PA-disminuida Beta 25Hz en Frontal caracterizó 30 (43%) niños con inatención visual y auditiva; Beta 23-25Hz en Centro-témporo-occipital a 33 (75%) con inatención visual; PA-incrementada 21Hz en Frontal y 25Hz en Parietal a 2 (29%) con inatención-auditiva. Beta 13-25Hz PA-disminuida en Frontal y Centro-témporo-occipital y 20-25Hz en Parietal influyeron en inatención visual en todas sus variables; mientras que inatención-auditiva en todas sus variables fue influenciada por Beta 16-25Hz en Centro-témporo-occipital. Beta 16-25Hz PA-disminuida en Frontal y Centro-témporo-occipital influyeron en hiperactividad visual y auditiva; Beta 22-25Hz en Centro-témporo-occipital en impulsividad visual y auditiva. **Conclusión:** Beta 20-25Hz con PA disminuida en Centro-témporo-occipital y 12-13Hz con PA-incrementada en Parietal junto con Variabilidad y Tiempo de Respuesta visual, pudieran ser biomarcadores del TDAH combinado. Los biomarcadores podrán apoyar el diagnóstico preciso y el uso de terapia no farmacológica con tecnología de punta que regule la actividad eléctrica.

**Palabras clave:** Trastorno por déficit de atención e hiperactividad, QEEG, Ritmo Beta, T.O.V.A, Variabilidad y Tiempo de reacción, Atención visual y atención auditiva, Redes neuronales artificiales.

the poor performance. AP decreased Beta 25Hz in Frontal characterized 30 (43%) children with visual and auditory inattention; Beta 23-25Hz in Center-temporal-occipital characterized 33 (75%) individuals with visual inattention; AP increased 21Hz in Frontal and 25Hz in Parietal characterized 2 (29%) children with auditory inattention. Beta 13-25Hz AP-decreased in Frontal and Central-temporal-occipital and 20-25Hz in Parietal influenced visual inattention in all its variables; while auditory inattention in all its variables was influenced by Beta 16-25Hz in Center-temporal-occipital. Beta 16-25Hz AP decreased in Frontal and Central-temporal-occipital influenced visual and auditory hyperactivity; Beta 22-25Hz in Central-temporal-occipital influenced visual and auditory impulsivity. **Conclusion:** Beta 20-25Hz with AP decreased in Central-temporal-occipital and 12-13Hz with AP increased in Parietal, together with Visual Variability and Response Time, could be biomarkers of combined ADHD. The biomarkers could support a more precise diagnosis and the use of non-pharmacological therapy with state-of-the-art technology focused on regulating brain electrical activity.

**Keywords:** Attention Dysfunction Hyperactivity Disorder, QEEG, Beta rhythm, T.O.V.A, Variability and Reaction Time, Visual attention and auditory attention, Neural networks.

## INTRODUCCIÓN

El Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) es el más frecuente en niños en edad escolar, representa el 40% de la población infantil atendida en la Clínica de Especialidades de Neuropsiquiatría del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE) de la Ciudad de México (CDMX). La clínica tiene como objetivo valorar, diagnosticar, tratar y resolver padecimientos neurológicos, psiquiátricos, neuropsicológicos y psicológicos. Los niños con TDAH de 6 a 14 años son valorados, diagnosticados y tratados en la “Clínica de TDAH” dentro de la misma Unidad Médica. A nivel mundial la prevalencia en niños en edad escolar fluctúa entre 2 a 7% dependiendo del país de que se trate (1). En México varía entre 14.6 al 23.4% según el estado de la república considerado (2). El TDAH es un trastorno del neurodesarrollo (3) con síntomas cardinales de inatención, hiperactividad e impulsividad que podrían derivarse de la falla ocurrida durante el desarrollo, de los mecanismos de plasticidad cerebral y por ende en la conectividad neuronal (4). La conectividad neuronal es necesaria para la transferencia de información glio-neuronal local y neuro-neuronal de excitación e inhibición que actúa en trayectos córtico-subcorticales y córtico-corticales; los potenciales postsinápticos graduales de células piramidales corticales crean dipolos eléctricos entre el soma (cuerpo de una neurona) y las dendritas apicales, ramificadas a partir de las neuronas (5) y generan un campo eléctrico secundario sobre el cuero cabelludo medible por el electroencefalograma clínico (EEG) y el cuantitativo (QEEG, por sus siglas en inglés). Ambos registran la actividad eléctrica de un conjunto de neuronas sincronizadas entre sí y con grupos distantes o cercanos de otras poblaciones neuronales, implicando la suma de fuerzas de cada una de las neuronas integrantes de cada grupo. La sincronización produce patrones de oscilación que, por su identidad en frecuencia, amplitud, forma, períodos de inhibición entre ellas y estados funcionales asociados, han dado origen a las bandas de frecuencia, distinguiéndose como ondas cerebrales delta, theta, alfa y beta. Las ondas delta tienen 0.5- 4 Hz, con amplitud variable pero mayor a

50 micro V, son propias de la infancia, se asocian con el sueño profundo o reparador del sistema nervioso. Las ondas theta de 4 a 7 Hz, con amplitud mayor a 40 micro V, propias de niños entre 3 meses y 5 años, con distribución fronto-central, aparecen durante la transición entre vigilia y sueño (fase I y II de sueño fisiológico), se han asociado con inspiración creativa, estados de intuición, de meditación profunda y el acceso a estados de inconsciencia (procesamiento de traumas, pesadillas o miedos) (5). Predominan cuando los sentidos están procesando información interna y el individuo se encuentra desconectado del mundo exterior, ensimismado; participan durante los procesos de aprendizaje y memoria. Las ondas alfa de 8-12Hz, con amplitud de 15 micro V, de distribución occipital simétrica, pueden variar con situación de ojos abiertos (disminuyen) y ojos cerrados (aumentan); se asocian a un estado despierto, relajado y sin ninguna atención en el exterior. Se han dividido en: alfa inferior (8-10 Hz) relacionada con la acción de recuerdo de la memoria semántica y alfa superior (10-12 Hz) asociada a optimización del rendimiento cognitivo y concentración. Las ondas beta 12 a 30 Hz, con amplitud menor de 15 micro V de distribución anterior, especialmente frontal; es el ritmo habitual del estado de vigilia, asociado con el pensamiento y la atención sostenida (5), vigilancia, alerta, concentración, análisis y asimilación rápida de nueva información, procesos mentales complejos, alto rendimiento físico y mental, pero también con agotamiento, ansiedad y tensión. El ritmo beta se ha dividido en Beta 1 (12 – 15 Hz) o ritmo sensorio motor (SMR por sus siglas en inglés) asociado a vigilancia, movilidad reducida, respiración superficial, menor parpadeo, atención y mirada fija, tiene un efecto calmante. Ritmo Beta 2 (15-18 Hz), ocurre cuando el sujeto se encuentra comprometido en una tarea. Ritmo Beta 3 (18-25 Hz) aparece cuando el sujeto está muy concentrado o realizando tareas cognitivas complejas o integrando nuevas experiencias. Ritmo Beta alta (25-30 Hz) puede significar un estado de ansiedad o excitación, hiperalerta. Otro ritmo es el Gamma (30- 100 Hz) asociado al aprendizaje, procesamiento cognitivo, tareas de resolución de problemas, agudeza mental, organización y planeación. En general, las oscilaciones en el extremo inferior del espectro de frecuencias tienden a comprometer grandes

dominios espaciales, mientras que las de frecuencias más altas se localizan en áreas corticales restringidas (6). Se puede afirmar que las oscilaciones lentas corticales, delta e inferiores (inferiores de .2 Hz) son adecuadas para agrupar otros ritmos cerebrales (7); mientras que las oscilaciones de frecuencias intermedias, theta y alfa, son óptimas para modular o bloquear la transferencia de información a través de poblaciones específicas, como entre hipocampo y corteza entorrinal en el caso de Theta (8) y entre vías tálamo-corticales en el caso de alfa (9). Por último, las oscilaciones en las frecuencias más altas, Beta y Gamma, son especialmente adecuadas para involucrar a poblaciones relativamente discretas, asociadas a funciones específicas como los procesos de atención.

Tanto el electroencefalograma clínico (EEG) (10) como el cuantitativo (QEEG) (11) realizados en estado de reposo con ojos cerrados (12), en reposo con ojos abiertos (13), durante la ejecución de una tarea de atención (14) o durante la ejecución de la prueba TOVA (15) han aportado información controvertida de la actividad eléctrica cerebral y de la sintomatología cognitiva y comportamental de los niños con TDAH. La evidencia del QEEG y las fallas en la ejecución de pruebas que miden atención, han permitido apoyar la idea de que los niños con TDAH tienen una forma de maduración diferente al niño sano (16), la cual se ha manifestado en la disminución de la Potencia Absoluta del ritmo Beta (11, 17, 18).

La Potencia Absoluta (PA) es una de las posibles medidas obtenidas en el QEEG, se define como el área bajo la curva de la amplitud en función de la frecuencia. La unidad de medida es  $\mu V^2$  y representa la energía que contiene todo el espectro (PATotal) del QEEG, o la contenida en una banda de frecuencia particular: PA Delta, Theta, Alfa y Beta; así cada una de ellas es el área total promedio de Delta, Theta, Alfa o Beta; o puede ser promedio por rangos: PA Beta 1 (12Hz-15Hz), Beta 2 (15Hz-18Hz), Beta 3 (18Hz-25 Hz) y Beta alta (25Hz-30Hz); Alfa Baja (8 Hz-10 Hz), Alfa alta (10Hz-12 Hz), o bien por frecuencias aisladas (PA 12Hz, 13Hz, 14Hz, 15Hz...30Hz) (19).

En estudios de QEEG la PA en niños con TDAH muestra un patrón característico que permite realizar el diagnóstico. En general, se observa un incremento en los ritmos lentos (Delta y Theta) y una disminución

de los rápidos (Alfa y Beta) (20). En 1999, Monastra, Lubar y su grupo (21) mostraron la utilidad del QEEG en la evaluación de sujetos con TDAH. Los autores utilizaron la división de PA theta (4-8 Hz) entre PA beta (13-21 Hz), obteniendo 86% de sensibilidad y 98% de especificidad. Esos hallazgos constituyeron una prueba neurométrica basada en QEEG para su uso en la evaluación del TDAH.

En un estudio más reciente, la PA de Beta total y el incremento de Theta registrada en reposo con ojos cerrados tuvo 89% de sensibilidad y 79.6 % de especificidad para diagnosticar TDAH (22). Por lo que la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA por sus siglas en inglés) ha sugerido el uso del índice Theta/Beta de PA como marcador biológico que debe integrarse a la valoración clínica de niños con TDAH (23).

En una amplia revisión hecha en 2018 (17), se confirman esos hallazgos, siendo la disminución de PA de Beta total, al igual que el incremento de PA de la razón Theta/Beta una característica en niños con TDAH; sin embargo, para el tipo de presentación combinado aún hay desacuerdo de su uso como marcador biológico, ya que al comparar Theta/Beta entre los tipos de presentación inatento y combinado hubo diferencias significativas, sosteniéndose para los niños con tipo de presentación inatento, pero no para los de tipo de presentación combinado (24). En la revisión, se argumentó que, el incremento en la PA de la razón Theta/Beta se debió a incremento en Theta y disminución de Beta, o a incremento en Theta sin variación de Beta, e incremento en ambos ritmos, pero siendo mayor el de Theta, por lo que no recomiendan su uso como única medida (17).

La PA en el QEEG además ha permitido, diferenciar el trastorno entre niños y niñas (25) entre tipos de presentación del TDAH (26, 27) y proponer el registro en situación de reposo con ojos cerrados como la técnica más adecuada para la valoración de la PA debido a que hay menor interferencia por movimiento de los ojos y menor distracción ocasionada por el ambiente (28).

El ritmo Beta registrado en el área sensoriomotora y en la región Frontal, se ha asociado con vigilancia y atención selectiva (29); con atención sostenida y procesos de atención selectiva “top down,” toma de decisiones y atención ante la ejecución o inhibición del

movimiento (30); así como con respuesta impulsiva (31). Se ha señalado al ritmo Beta como predictor de la percepción adecuada y del rendimiento motor sano; mientras que su alteración pronostica un movimiento patológico como ocurre en alteraciones neuropsiquiátricas (32) incluido el TDAH. Aún más, se ha observado una correlación directa entre el incremento de la PA Beta en reposo y la correcta ejecución en pruebas que miden procesos de atención (CPT por sus siglas en inglés) (33). En un estudio, los autores (34) encontraron que la actividad Beta varía en las diferentes áreas corticales, siendo la derivación frontal izquierda (F7) el mejor sitio para confirmar el diagnóstico de TDAH, con una sensibilidad de 86% y especificidad de 57%. Sin embargo, también se ha informado concurrente a inatención, el incremento PA de Beta total (35); así como el incremento de PA Beta en todas las áreas corticales, menos en el área occipital (36), o bien disminución en la región posterior e incremento en la región Frontal (35).

Con el uso de la prueba estadística, Redes Neuronales Perceptrón Multicapas (RNPM), se encontró que el valor de la PA de Beta alta, Beta 1 y Beta 2, está dentro de las sesenta mejores medidas para vincular la disfunción en el QEEG con la existencia de defectos en atención y el control de la respuesta en niños con TDAH (18, 37). Usando el mismo modelo estadístico, encontraron que la PA Beta del registro del QEEG durante la ejecución de una tarea de atención, predice en más del 93% una ejecución deficiente. El modelo de Perceptrón multicapa es equivalente a un modelo de regresión lineal, debido a la similitud entre ellos. En ambos, la variable de salida (variable respuesta Y) se relaciona con las variables de entrada (variables predictoras), aplicando la función de activación (función identidad) sobre una combinación lineal de pesos (coeficientes); pero RNPM no requiere el cumplimiento teórico de linealidad, independencia, homocedasticidad, normalidad y no colinealidad.

El análisis del ritmo Beta total puede enmascarar fenómenos subyacentes (38), porque el ritmo Beta no es unitario en cuanto a los generadores identificados (subcorticales, corticales e intracorticales) (39); tampoco por la subdivisión que se le ha dado: ritmo menor de 15 Hz, potencialmente "inhibitorio" y funcionalmente similar al alfa (40); menor a 20 Hz y

mayor a 20 Hz (40) o Beta 1, Beta 2, Beta 3 y Beta alta (41). Tampoco es unitario por la vinculación que tiene con la frecuencia delta, alfa, o con la gamma; ni por los diferentes procesos cognitivos con los que se le ha asociado (42).

Puede suponerse que la PA de cada una de las frecuencias Beta aisladas con valores de + dos desviaciones de la norma, tenga localización específica en la corteza cerebral, constituyendo un marcador del QEEG que se pueda utilizar en la identificación o predicción de fallas en la atención visual y en la auditiva en situación de prueba y en la atención en la conducta natural. Las fallas tanto en situación de prueba como en la conducta natural pueden ser por inatención a la información externa o interna, expresándose con deficiencia en atención selectiva, sostenida, cambiante, tiempo de reacción, autocontrol de la atención, distraibilidad, vigilancia, alerta fásica; pero también como falla en la atención a la realización del movimiento, por lo que ése ocurre con anticipación o impulsividad; o bien por inatención a la inhibición del movimiento lo que generaría hiperactividad. El estudio de niños con TDAH considerando todos los aspectos señalados podría aumentar el conocimiento del trastorno y mejorar el tratamiento no farmacológico.

Hace falta, por tanto, identificar en los niños con TDAH-C la localización cortical de cada una de las frecuencias Beta, cuya PA sea desviada de la norma por disminución o incremento en el QEEG. Puede esperarse que, como marcadores biológicos, sean predictores probabilísticos de la inatención, tanto a la información como a la iniciación e inhibición del movimiento.

## HIPÓTESIS PRINCIPAL

1. Las frecuencias Beta aisladas (12 a 25 Hz) con PA desviada de la norma (por disminución o incremento), tienen distribución diferente en las cortezas Frontal, Parietal y Centro-témporo-occipital en niños con TDAH-C.

## Hipótesis secundarias

1. En el QEEG, la PA de las frecuencias Beta aisladas es sensible para diagnosticar TDAH-C

2. El mayor número de derivaciones con PA disminuida o incrementada ocurre en diferentes frecuencias Beta y en diferente localización cortical.
3. Una o más frecuencias Beta aisladas son marcadores biológicos de los niños con TDAH-C
4. Los niños con TDAH-C tienen un perfil característico de inatención visual diferente del de inatención auditiva en situación de prueba.
5. Las frecuencias Beta con PA desviada de la norma y su localización cortical, son diferentes entre los niños con TDAH-C con inatención visual y con inatención auditiva.
6. La inatención a la iniciación del movimiento, (impulsividad,) y la inatención a la inhibición del movimiento, (hiperactividad) son influenciadas por distintas frecuencias Beta aisladas.

## OBJETIVOS

1. Identificar las áreas corticales de niños varones con TDAH-C que, en el QEEG en reposo con ojos cerrados, muestren PA desviada de la norma en cada una de las frecuencias Beta aisladas (desde 12 Hz hasta 25 Hz).
2. Identificar la asociación predictiva de las frecuencias Beta aisladas, desviadas de la norma, sobre la inatención visual, auditiva y al movimiento generando acción anticipada (impulsividad) o falla de inhibición del movimiento (hiperactividad).

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Diseño

La investigación fue retrospectiva, doble ciego, descriptiva, comparativa en su primera parte y predictiva en la segunda; los datos de las variables independientes y dependientes se tomaron de los expedientes clínicos físicos y electrónicos. La unidad de observación fue cada uno de los niños varones cuya valoración fue anotada en el expediente. No hubo grupo control. La intervención experimental consistió en el análisis estadístico de las variables independientes y dependientes y la medida de la influencia o predicción de las variables independientes sobre las dependientes. La unidad

de medida en las variables independientes fue en los 131 niños, el número de derivaciones corticales con PA desviada de la norma ( $Z = + 2$ ). La unidad de medida de las variables dependientes fue el número de niños con puntuación debajo de la norma ( $< 80$ ) en las variables de atención visual y en las variables de atención auditiva, a los 5, 10, 15 y 20 minutos. Incluyeron atención al movimiento. En total 20 valores visuales y 20 valores auditivos.

### Características de los participantes

Niños varones de 6 a 14 años, derechohabientes del ISSSTE, que asisten a primaria o secundaria, con diagnóstico multidisciplinario de TDAH-C en expediente clínico y electrónico, que acudieron a la “Clínica de TDAH” (ISSSTE, CDMX) para valoración en el período de agosto de 2008 a noviembre de 2019.

Se estudiaron únicamente niños varones por la gran prevalencia de 12:1 niños a niñas y porque hay síntomas asociados al género (43); así como características en el QEEG (20) lo que, de no ser así, impediría homogenizar la muestra. Se estudiaron de esa edad porque ya tienen desarrollados los procesos de atención visual y auditiva valorados (44)-

### Criterios de inclusión

**a.** Varones de entre 6 y 14 años, **b.** diagnóstico multidisciplinario de TDAH-C realizado en forma independiente por tres médicos certificados en: medicina familiar, neuropsiquiatría o psiquiatría. Con atención a los criterios diagnósticos del DSM-IV-TR (45) y DSM-5 (3), **c.** con historia clínica médica considerando antecedentes pre, peri y posnatales, **d.** con historia psicológica individual y familiar, **e.** diagnóstico de TDAH-C confirmado por psicólogo experto en TDAH y de acuerdo a los criterios del DSM-IV-TR (45) y DSM-5 (3), **f.** con EEG clínico sin paroxismos o grafoelementos compatibles con epilepsia, **g.** sin otro padecimiento neurológico, psiquiátrico, o neuropsicológico, **h.** sin tomar medicamentos durante la valoración, **i.** con puntaje  $> 90$  en las subescalas de Déficit de Atención y de Hiperactividad-Impulsividad de la Escala de EDAAH contestada por padres o tutores

10 (46), **j.** con Cociente Intelectual (CI) > 85 medido por la escala de inteligencia de Wechsler para niños, cuarta edición, 2005 (WISC-IV) (47), **k.** con todos los puntajes de prueba TOVA en su modalidad visual, **l.** con todos los puntajes de prueba TOVA en su modalidad auditiva (48); **ll.** con QEEG y mapeo cerebral con PA de frecuencias beta aisladas, **m.** con carta de consentimiento informado firmada por el niño y el padre o tutor.

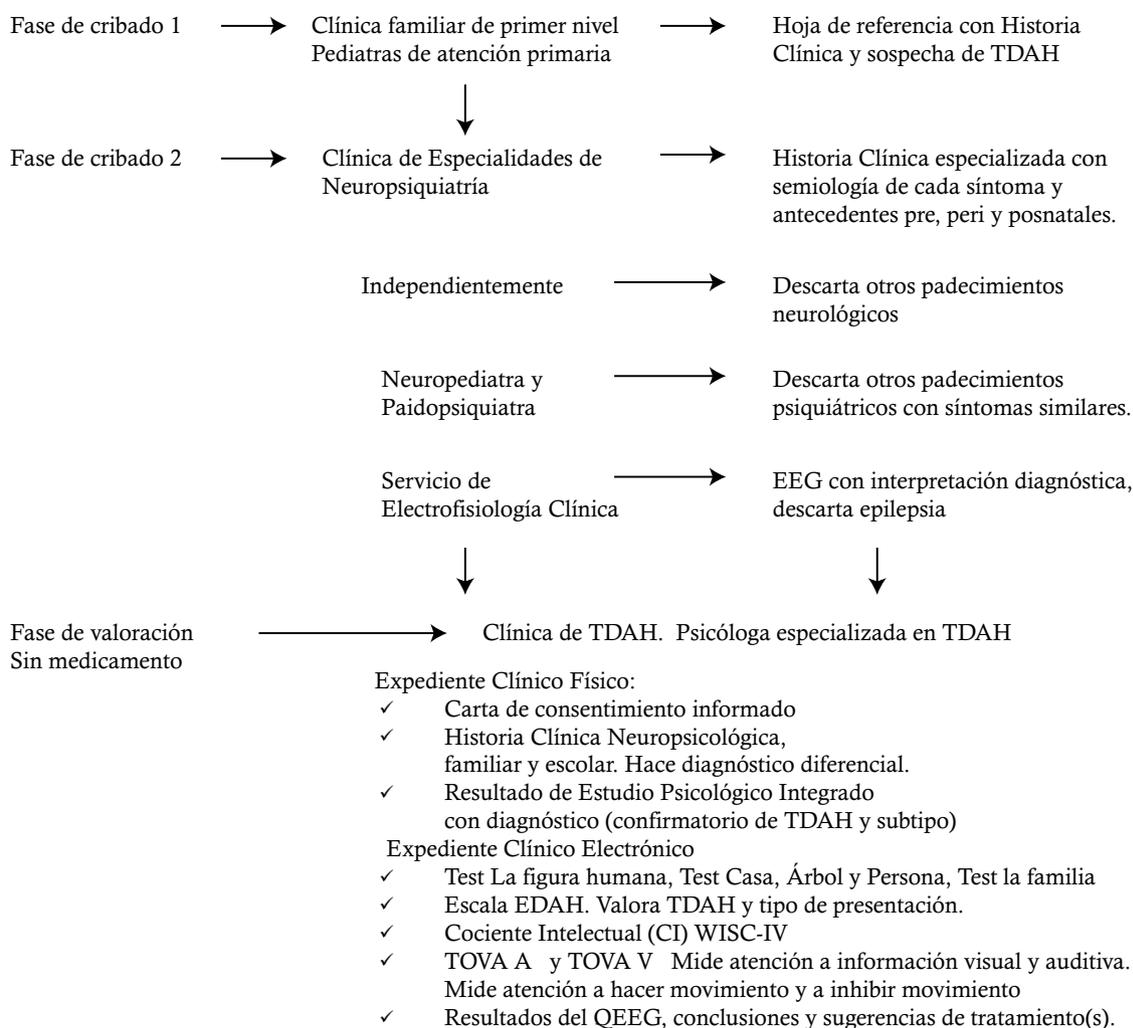
### Criterios de eliminación

Niños que no terminaron la valoración o que en el transcurso presentaran otro trastorno o padecimiento del sistema nervioso.

En la **figura 1** se presentan los datos contenidos en los expedientes y los servicios médicos a los que asistió el paciente hasta obtener el diagnóstico diferencial de TDAH-C.

### Criterios de exclusión

Niños que necesitaron tomar medicamento antes de terminar la valoración.



**Figura 1.** Datos del paciente en el expediente clínico físico y electrónico

### Tamaño, potencia y precisión de la muestra

El tamaño de la muestra se calculó usando la fórmula  $n = Z^2 pq/E^2$  porque la población es mayor de 10.000, en donde  $Z$  es el nivel de confianza  $95\% = 1,96$ ;  $p$   $q$  = prevalencia del fenómeno ( $p$  = probabilidad de niños con TDAH de 20%) y  $E$  es la precisión del error = 0,07. Sustituyendo:  $n = 1,96^2 \times 0,20 \times 0,80 / 0,07^2$  por tanto  $n = 3,8416 \times 0,16 / 0,0049$ ,  $n = 0,614656 / 0,0049$  por lo que  $n = 125,44 = 126$  niños. Para la seguridad del estudio se estableció el nivel de confianza de 95% ( $\alpha = 0,05$ ), con potencia estadística de 80% ( $\beta = 0,20$ ), con precisión de 0,07 y con amplitud del intervalo de confianza de 16. Faltó considerar el efecto del diseño, lo que debió hacerse por no ser un diseño aleatorio.

### Procedimientos de muestreo.

No aleatorio, no hubo grupo control; se tomaron todos los expedientes de los niños valorados en la "Clínica de TDAH" de agosto 2008 a noviembre 2019 que tuvieran todos los criterios de inclusión; se superó el número del tamaño de la muestra calculado, obteniendo 131 expedientes completos de niños con TDAH-C.

### Instrumentos y pruebas.

Se enlistan las pruebas de las que se obtuvieron los valores de punto de corte para ser incluidos y los puntajes de las variables dependientes e independientes.

a. Escala de Déficit de Atención e Hiperactividad (EDAH) (46) Contestada por los padres. Tiene 20 reactivos que valoran la atención en la conducta natural. Otorga un puntaje total y puntaje en cuatro subescalas: Déficit de Atención, Hiperactividad/Impulsividad, Déficit de Atención más Hiperactividad/Impulsividad y Trastorno de Conducta. Se usó para corroborar el diagnóstico de TDAH-C. Punto de corte para ser incluidos puntaje  $> 90$  en dos subescalas: Déficit de Atención (80 % de especificidad) e Hiperactividad/Impulsividad (85 % de especificidad). No se tomó el puntaje total porque incluye el trastorno de conducta.

b. WISC-IV confiabilidad 88 a 97 % (47). Es una prueba de inteligencia que tiene varias subpruebas normadas por edad; punto de corte para ser incluidos Cociente Intelectual (CI)  $> 85$ .

c. Prueba de las variables de atención (TOVA por sus siglas en inglés), en modalidad visual.

d. Prueba de las variables de atención (TOVA por sus siglas en inglés), en modalidad auditiva.

Se eligieron (en 2008 y se aplican desde entonces hasta ahora) porque miden atención independiente de otros mecanismos cognitivos, lenguaje y emociones. Ambas son prueba de ejecución continua (CPT por sus siglas en inglés), aplicables mediante computadora y otorgan la calificación inmediata; con sensibilidad de 80 % y especificidad de 90 % para TDAH (48). En la prueba visual el estímulo blanco es un cuadro blanco con uno negro dentro en la parte superior y el no blanco tiene el cuadro negro en la parte inferior. En la prueba auditiva el estímulo blanco es un tono agudo de 392 Hz (sol cinco en clave de sol) y el no blanco es un tono grave de 262 Hz (do cinco en clave de sol). En la primera mitad de la prueba (cero a 10 minutos), el estímulo blanco se presenta a baja frecuencia; mientras que en la segunda mitad (10 a 20 minutos) a frecuencia alta. Se realiza una sesión de tres minutos de práctica para constatar la comprensión de las instrucciones y la capacidad de discriminación entre los estímulos. Se tomaron como variables dependientes de atención visual y de atención auditiva: la Variabilidad en el tiempo de respuesta (Variabilidad en adelante, la puntuación bajo la norma implica inconsistencia por falla en autorregulación de la atención), Tiempo de respuesta,  $d'$  que es la sensibilidad de discriminación entre el estímulo blanco del que no es (Distraibilidad en adelante), errores de Omisión y Comisión. La puntuación es normada por edad y sexo (49) y se generan cuatro puntajes para cada variable; a los 5, 10, 15 y 20 minutos de iniciada la prueba. En todas las variables menos en Comisión, la puntuación  $< 80$  indica inatención a la información; mientras que los errores de Comisión ( $< 80$ ) indican inatención al movimiento. En la primera mitad inatención a iniciar movimiento o impulsividad y en la segunda mitad inatención a la inhibición del movimiento o hiperactividad.

e. El QEEG fue registrado como parte de la valoración de rutina con un equipo digital Grass telefactor portátil de 19 canales, según sistema 10-20; control de impedancia (debajo de 5 Ohms y control automático de artefactos (> 120 microvoltios). Con los lóbulos de las orejas cortocircuitados. El rango de frecuencias considerado fue de 1-30 Hz. Se usó electro cap del tamaño indicado en cada niño; en situación de despierto con ojos abiertos y cerrados, alternando cada 3 minutos por 30 minutos. Se seleccionaron tres minutos de registro, habiendo eliminado artefactos, con ojos cerrados y ojos abiertos por separado, se enviaron a un Software especializado (41) para realizar la Transformada Rápida de Fourier y generar el QEEG. Los puntajes Z son normados por edad, sexo y condición de ojos cerrados o abiertos en la base NeuroGuide (41).

### Medidas y covariantes

Las variables dependientes fueron 20 puntajes de atención visual y 20 de atención auditiva tomadas de cada expediente de los 131 niños: Variabilidad, Tiempo de respuesta, distraibilidad, errores de Omisión (primera mitad mide Vigilancia, segunda mitad mide alerta fásica) y Comisión (primera mitad mide impulsividad, segunda mitad mide hiperactividad); todas a los 5, 10, 15 y 20 minutos de iniciada la prueba. El puntaje de < 80 es de inatención a la información o inatención al movimiento. Total, de variables dependientes anotadas = 40

Las variables independientes fueron el número de derivaciones con valor Z desviado de la norma ( $Z > +2$  o  $Z < -2$ ) de la PA de cada una de las 14 frecuencias Beta aisladas, en cada una de las 19 derivaciones corticales según el sistema 10-20, en condición de ojos cerrados, agrupadas en Frontal (Fp1, Fp2, F3, Fz, F4, F7, F8), Parietal (P3, Pz, P4) y Centro-témporo-occipital (C3, Cz, C4, T5, T6, T7, T8, O1, O2). En total 532 (2 por 14 por 19) datos de cada expediente electrónico. Para minimizar el sesgo de observación, todos los QEEG de los expedientes electrónicos seleccionados, fueron revisados mediante técnica doble ciego por una experta en

neuropsicología con especialidad en neurofeedback y en niños con TDAH. Todos fueron aceptados.

Se tiene como covariante la inteligencia, que se usó como punto de corte para cubrir el criterio de inclusión  $CI > 85$ . Son también covariantes, los factores de riesgo pre, peri y postnatales para el TDAH y todos los datos psicológicos arrojados en la prueba BASC, y proyectivas que se usaron como información complementaria cualitativa para el cumplimiento cabal de los criterios de inclusión y descartar los diagnósticos diferenciales.

El trastorno de conducta es otra covariante, incluida en puntaje global de EDAH (46); por ese motivo se tomaron los puntajes de dos subescalas: Déficit de Atención e Hiperactividad/Impulsividad con punto de corte  $> 90$ , en lugar del global. Por último, el grado escolar y por ende la edad es otra covariante que se considera en la tipificación de WISC-IV (47), en TOVA-A y TOVA-V (49) y en el Software de NeuroGuide (41).

### Análisis de datos

La captura de datos y el análisis estadístico se realizaron usando el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) version 25 (50) Se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov con corrección de Lilliefors, para determinar el tipo de distribución de las variables y el uso de pruebas paramétricas, en caso de ser normal o el de no paramétricas en caso contrario. Se fijó el nivel de significancia en  $p < .05$  para todas las pruebas.

Se obtuvieron los estadísticos descriptivos de edad, CI y de todas las variables. Se usó análisis de varianza de un factor (ANOVA) para comparar entre las áreas corticales Frontal, Parietal y Centro-témporo-occipital el número de derivaciones con PA desviada de la norma por disminución ( $Z < -2$ ) y por incremento ( $Z > +2$ )

La sensibilidad del QEEG con PA de Beta para TDAH-C se calculó con la proporción  $VP / VP + FN$ , donde: VP = Verdaderos positivos y FN = Falsos negativos.

La relación entre las frecuencias Beta aisladas y el número de derivaciones corticales con PA disminuida o incrementada se usó la prueba de Pearson.

Se compararon las 20 variables dependientes visuales contra la variable homóloga de cada una de las 20 variables dependientes auditivas, usando la prueba t para dos muestras independientes; se comparó cada una de las variables dependientes inter-modalidad, con la prueba ANOVA de un factor. Se midió la sensibilidad de TOVA-V junto con TOVA-A, y por separado de cada una para diagnosticar TDAH-C. Se cuantificó el número de niños que tuvieron puntuación debajo de la norma en cada variable de TOVA-V y TOVA-A

Con la prueba ANOVA de un factor se compararon la PA disminuida e incrementada entre los cuatro grupos clasificados por TOVA-V y TOVA-A.

### Análisis Adicionales

Para conocer la influencia o predicción probabilística de las variables independientes desviadas de la norma sobre las variables dependientes debajo de la norma, mediante la técnica de doble ciego, una experta en la técnica estadística de RNPM (18, 37) la aplicó. Se escogió porque es equivalente a regresión lineal, pero no requiere los supuestos de linealidad, independencia, homocedasticidad, normalidad y no colinealidad que exige la regresión. Se usó como entrada o variables independientes el número de derivaciones con PA desviada de la norma por disminución ( $Z < -2$ ) o por incremento ( $> +2$ ) agrupadas en Frontal, Parietal y Centro-témporo-occipital para predecir como variables de salida o dependientes: Variabilidad, Tiempo de Respuesta, Distraibilidad y errores de Omisión y Comisión, a los 5, 10, 15 y 20 minutos de la prueba visual o auditiva con puntuación debajo de la norma. RNPMC usó 1572 datos (boosting de los datos), se tomó 70% para entrenamiento y 30% para validación. La semilla aleatoria fue de 2 000 000. Se obtuvo una clasificación binaria para cada categoría de TOVA-V y TOVA-A (48) a partir del incremento o disminución de la PA de cada una de las frecuencias Beta aisladas. El modelo fue probado con las curvas COR (característica operativa del receptor); el modelo es excelente con

valor del área bajo la curva de 0,97 a 1; muy bueno de 0,9 a 0,97 y bueno de 0,75 a 0,9 La sensibilidad y especificidad se aceptó con valores arriba de 80% . cada variable dependiente.

### RESULTADOS

La muestra estuvo constituida por 131 niños varones con edad promedio de 9,0 + 1,8 años, con CI promedio de 106,7 + 9,9 sin comorbilidad neurológica, psiquiátrica o neuropsicológica y sin tratamiento farmacológico durante la valoración, con diagnóstico multidisciplinario TDAH-C asentado en expediente. La inspección visual del EEG realizada por cuatro especialistas en forma independiente y anotada en el expediente de cada niño coincidió en que no hubo actividad paroxística, ni grafoelementos compatibles con epilepsia en ninguno de los niños.

Tanto las variables dependientes como las independientes mostraron una distribución normal (Kolmogorov-Smirnov con corrección de Lilliefors,  $p > 0,05$ ).

### Variables independientes. Resultados

En las 19 derivaciones corticales de los 131 niños, se encontraron 2.132 PA con desviación de la norma, en una o más frecuencias Beta aisladas; de ellas 81,52% (1.738 derivaciones corticales) tuvieron disminución ( $Z < -2$ ) y 18,48 % (394 derivaciones corticales) tuvieron incremento ( $Z > +2$ ).

La distribución entre las áreas corticales Frontal, Parietal y Centro-témporo-occipital fue diferente significativamente tanto para la PA con disminución  $F = 18,24$  (gl 2)  $p = 0,0001$ ; como para la PA con incremento  $F = 3,58$  (gl 2)  $p = 0,037$ . El número de derivaciones con PA disminuida fue significativamente mayor que el número con PA incrementada en el área Frontal ( $F = 78,82$ , (gl1)  $p = 0,001$ ) y en Centro-témporo-occipital ( $F = 72,80$  (gl1),  $p = 0,0001$ ), pero no en Parietal ( $F = 4$  (gl1).  $p = 0,056$ ).

La sensibilidad para TDAH-C del QEEG usando PA de frecuencias Beta aisladas fue de 92,4% (121/121+ 10); no se calculó la especificidad porque no hubo grupo control.

**Tabla 1.** Derivaciones de frecuencias Beta con PA disminuida o incrementada en las cortezas Frontal, Parietal y Centro- témporo -occipital

Frecuencias Beta Aisladas 12 a 25 Hz	Frontal Media (desviación)	Parietal Media (desviación)	Centro-témporo-occipital Media (desviación)	ANOVA
Número de derivaciones con PA disminuida	47.29 (16.92)	21.43 (12.27)	55.43 (19.43)	F = 18.24 (gl 2) p = .0001
Número de derivaciones con PA incrementada	6.07 (3.9)	13.05 (9.68)	9.07 (5.96)	F = 3.58 (gl 2) p = .037

PA = Potencia Absoluta. Tomada del QEEG de los 131 niños.

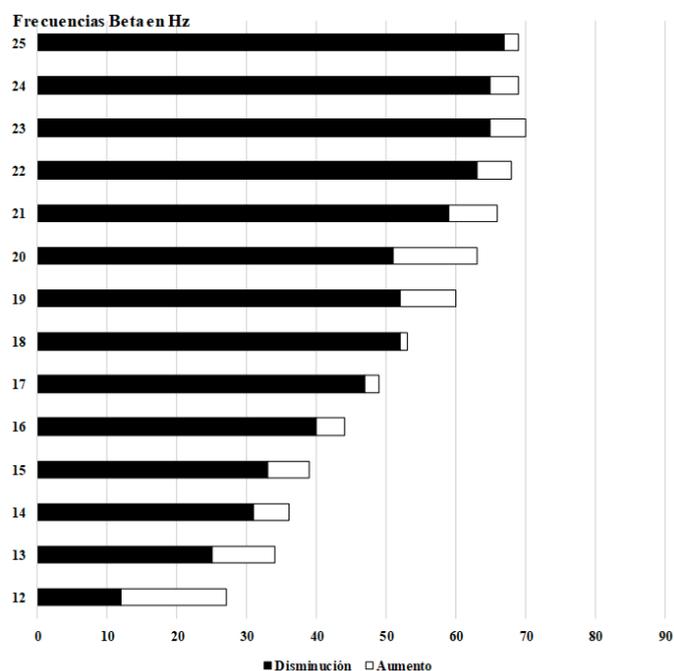
### Potencia absoluta disminuida.

En  rea Frontal se localizaron 662 derivaciones corticales, el 38,09% del total; en Parietal ocurrieron 300 derivaciones, el 17,26% del total y en Centro-témporo-occipital fueron 776 derivaciones, el 44,65% del mismo total. En las gráficas 1, 2 y 3 se observa que el mayor porcentaje de derivaciones con disminución (en negro) ocurrió en las frecuencias Beta aisladas de 20 Hz a 25 Hz para todas las áreas corticales. La correlación entre el número de derivaciones con PA disminuida y cada una de las frecuencias Beta aisladas fue directa y significativa en Frontal (Pearson = 0,966 p = 0,01), Parietal (Pearson = 0,976 p = 0,01) y en Centro-témporo-occipital (Pearson = 0,959 p = 0,01). Así, el mayor número de PA con disminución significativa ocurrió en las frecuencias Beta más altas (20 a 25 Hz) en la corteza Centro-témporo-occipital, con menor número en Frontal.

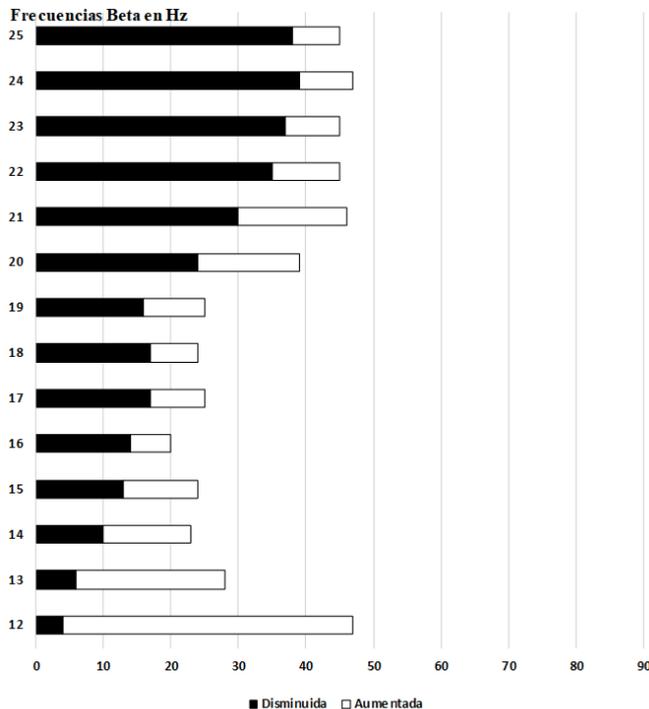
### Potencia absoluta incrementada.

Del total de derivaciones corticales (394) con incremento de PA en cada una de las frecuencias Beta aisladas, 85 (21,58%) ocurrieron en Frontal; 184 (46,45%) en Parietal y 126 (31,97%) en Centro-témporo-occipital. En las gráficas 1, 2 y 3 se observa que el mayor porcentaje de derivaciones con incremento (en blanco) ocurrió en las frecuencias Beta aisladas de 12 y 13 Hz para todas las áreas corticales. La correlación entre el número de derivaciones con PA incrementada y cada una de las

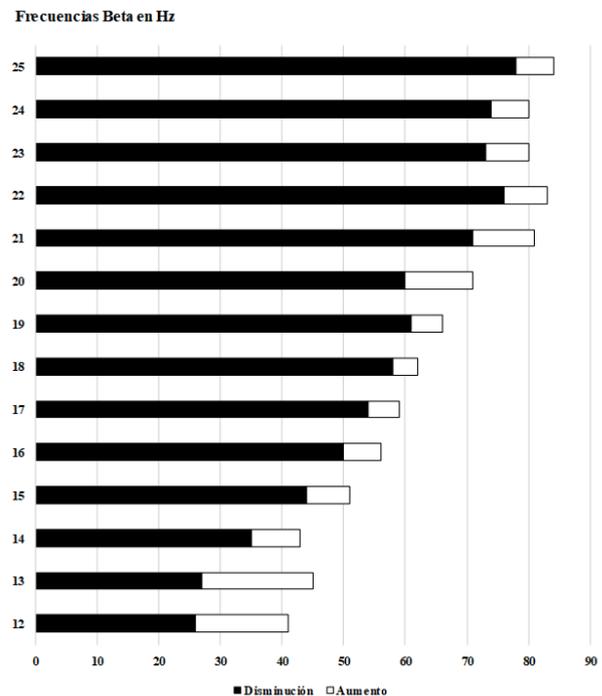
frecuencias Beta aisladas fue inversa y significativa en Parietal (Pearson = -0,571 p = 0,033) y en Centro-témporo-occipital (Pearson = -0,559 p = 0,038), pero no en Frontal (Pearson = -0,421). Así, el mayor número de derivaciones con PA incrementada significativamente ocurrió en las frecuencias Beta más bajas (12 Hz y 13 Hz en la corteza Parietal y con menor número en Centro-témporo-occipital).



**Gráfica 1.** Número de Derivaciones en Corteza Frontal (Pf1, Pf2, F3, Fz, F4, F7, F8) con PA Beta disminuida  $Z < -2$  o incrementada  $Z > + 2$  desviaciones estándar. En la corteza Frontal la correlación entre número de derivaciones con PA disminuida y la frecuencia Beta fue directa y significativa.



**Gráfica 2.** Número de Derivaciones en Corteza Parietal (P3, Pz, P4) con PA Beta disminuida  $Z < -2$  o incrementada  $Z > +2$  desviaciones estándar. En la corteza Parietal la correlación entre las frecuencias Beta aisladas y el número de derivaciones con PA disminuida fue directa y significativa; mientras que con el número de derivaciones con PA incrementada fue inversa y significativa.



**Gráfica 3.** Número de Derivaciones en Corteza Centro-témporo-occipital (C3, Cz, C4, T5, T6, T7, T8, 1, O2) con PA Beta disminuida  $Z < -2$  o incrementada  $Z > +2$  desviaciones estándar. En la corteza Centro-témporo-occipital la correlación entre las frecuencias Beta aisladas y el número de derivaciones con PA disminuida fue directa y significativa; mientras que con el número de derivaciones con PA incrementada fue inversa y significativa.

### Atención visual y auditiva en situación de prueba.

La sensibilidad de TOVA-V junto con TOVA-A para diagnosticar TDAH-C fue de 91,6% (120/120+11); mientras que la visual tuvo sensibilidad de 86,3% (113/113 + 18) y la auditiva de 58% (76/76+ 55). No se midió la especificidad de ninguna porque no hubo grupo control.

Todas las puntuaciones en las variables de atención visual fueron más bajas que las homólogas de atención auditiva, excepto Comisión a los 5, 15 y 20 minutos, en que la puntuación fue más baja en la prueba auditiva que en la visual.

Las diferencias fueron significativas en 10 de las 20 comparaciones. Esas fueron Variabilidad a los 5 minutos  $t = -3,85$  (gl 260)  $p = 0,0001$ ; a los 10 minutos  $t = -3,26$  (gl 260)  $p = 0,0001$ ; a los 20 minutos  $t = -$

2,00 (gl 260)  $p = 0,046$ ; Tiempo de Respuesta a los 5 minutos  $t = -4,93$  (gl 260)  $p = 0,0001$ ; a los 10 minutos  $t = -5,64$  (gl 260)  $p = 0,0001$ ; a los 15 minutos  $t = -3,21$  (gl 260)  $p = 0,0001$ ; a los 20 minutos  $t = -3,47$  (gl 260)  $p = 0,0001$ ; Omisión a los 20 minutos  $t = -2,89$  (gl 260)  $p = 0,004$ ; Comisión a los 5 minutos  $t = 1,96$  (gl 260)  $p = 0,050$ ; y a los 20 minutos  $t = 3,57$  (gl 260)  $p = 0,0001$ .

La diferencia entre las puntuaciones de las variables de atención visual fue significativa  $F = 4,47$  (gl 19)  $p = 0,0001$ ; también fue significativa entre las de atención auditiva  $F = 5,83$  (gl 19)  $p = 0,0001$ .

En Variabilidad visual 78 niños (60%) tuvieron puntuación  $< 80$ , que es debajo la norma; seguida por Tiempo de Respuesta visual en que 58 niños (44%) la tuvieron; mientras que en Omisión auditiva únicamente fallaron 20 niños (15,3%). }

**Tabla 2.** Número de niños con TDAH-C y puntuación inferior a la norma en las variables de TOVA-V y TOVA-A.

Las variables de atención visual (TOVA-V) y auditiva (TOVA-A) clasificaron a los 131 niños en cuatro grupos.

VARIABLES TOVA	TOVA VISUAL niños (%)	TOVA AUDITIVA niños (%)
VARIABILIDAD	78 (60)	38 (29)
TIEMPO DE RESPUESTA	58 (44)	29 (22)
DISTRACCIÓN	56 (43)	43 (33)
OMISION	54 (41)	26 (20)
COMISION	49 (37)	50 (38)

1. Niños con inatención visual más inatención auditiva (TOVA-V + TOVA-A) = 69 (52,7%).

2. Niños con inatención visual únicamente (TOVA-V) = 44 (33,6%).

3. Niños con inatención auditiva únicamente (TOVA-A) = 7 (5,3%).

4. Niños con puntuación dentro de límites normales en ambas modalidades (TOVA-V + TOVA-A) = 11 (8,4%).

### Variables independientes en los cuatro grupos de niños con TDAH-C clasificados por el rendimiento en TOVA-V y TOVA-A

Las frecuencias Beta de 20 a 25 Hz, con PA disminuida o incrementada tuvieron distribución cortical diferente significativamente entre los cuatro grupos. Las frecuencias Beta con PA disminuida de 23Hz y de 25Hz en Frontal caracterizaron respectivamente a 30 (68%) niños con inatención visual, a 28 (41%) con inatención visual más inatención auditiva y a ninguno del grupo de inatención auditiva. En Parietal las frecuencias 22-25Hz y de 24Hz caracterizaron respectivamente a 19 (43%) niños con inatención visual, 16 (23%) con inatención visual más inatención auditiva y a ninguno del grupo de inatención auditiva. En Centro-témporo-occipital las frecuencias 23-25Hz, de 23Hz y de 25Hz caracterizaron respectivamente a 33 (75%) niños con inatención visual, a 36 (52%) con inatención visual más inatención auditiva y a 2 (29%) con inatención auditiva.

Las frecuencias Beta con PA incrementada de 20Hz en Frontal caracterizaron a 3 (7%) niños con inatención visual, a 6 (9%) con inatención visual más inatención auditiva y a 2 (29%) de inatención auditiva. En Parietal las frecuencias 20-21Hz, 24Hz y 25Hz caracterizaron respectivamente a 4 (9%) niños con inatención visual, 16 (23%)

con inatención visual más inatención auditiva y a 2 (29%) de inatención auditiva. En Centro-témporo-occipital las frecuencias 20Hz y de 21Hz caracterizaron respectivamente a 2 (5%) niños con inatención visual, a 8 (12%) con inatención visual más inatención auditiva y a ninguno del grupo de inatención auditiva.

En la [tabla 3](#) se expresa en porcentaje el número de niños con disminución o incremento en cada una de las frecuencias Beta de 20 a 25 Hz en cada grupo.

Es de llamar la atención que los niños sin alteración en las pruebas TOVA-V y TOVA-A, tuvieron 212 PA desviadas de la norma (9,94% del total encontrado), con distribución semejante a la muestra estudiada. Así, 168 fueron por disminución (64 en Frontal, 33 en Parietal y 71 en Centro-témporo-occipital); mientras que 44 derivaciones tuvieron desviación de la norma por incremento (6 en Frontal, 23 en Parietal y 15 en Centro-témporo-occipital). El 55 % de las PA con incremento ocurrió en las frecuencias Beta de 12 y 13 Hz.

### Análisis adicionales

El modelo RNPM fue acertado en las 20 variables visuales, las curvas COR tuvieron el área bajo la curva de .959 a .995; la sensibilidad fue de 80 a 98% y la especificidad de 80 a 97%; cumpliendo con lo estipulado.

En las 20 variables auditivas el modelo fue acertado, las curvas COR tuvieron el área bajo la curva entre .931 y .997; la sensibilidad fue de 85 a 98% y la especificidad de 80 a 98%; cumpliendo con lo estipulado.

**Frontal:** Únicamente la disminución de la PA de frecuencias 13-25 Hz o de 22-25 Hz predijeron probabilísticamente o influyeron en las puntuaciones debajo de la norma en todas las variables de atención visual en todos los minutos de la prueba, menos para Comisión que la predijo sólo a los 15 minutos. La disminución en la PA de la frecuencia de 17 Hz influyó en puntuación debajo de la norma en Variabilidad auditiva a los 10 minutos y Omisión a los 20 minutos. La disminución de PA de 17-25 Hz predijo Distrabilidad (15 y 20 minutos) y Comisión (15 minutos). El incremento de PA de 12 Hz influyó en Omisión (20 minutos) y Comisión (10 minutos).

**Tabla 3.** Comparación de las Frecuencias Beta aisladas entre los cuatro grupos clasificados por TOVA-V y TOVA-A

Frecuencias Beta Hz	Grupos Clasificados Por TOVA-V y TOVA-A								Significancia*
	G4		G3		G2		G1		
	Dentro de la norma N = 11		Inatención Auditiva N = 7		Inatención Visual N = 44		Inatención Visual y Auditiva N = 69		
	D	I	D	I	D	I	D	I	Frontal
20	55	9	0	29	48	7	35	9	F 2.9 gl 3 p = .028
21	45	0	0	29	59	5	41	4	F 4.5 gl 3 p = .005
22	45	0	0	0	66	5	42	3	F 3.2 gl 3 p = .027
23	55	0	0	14	68	5	41	4	F 2.9 gl 3 p = .033
24	64	0	0	14	64	3	42	4	F 2.8 gl 3 p = .040
25	64	0	0	14	66	0	43	3	F 3.5 gl 3 p = .017
									Parietal
20	27	9	0	14	25	9	15	13	
21	36	9	0	14	36	9	15	15	F 2.8 gl 3 p = .044
22	36	9	0	14	43	5	17	9	F 3.8 gl 3 p = .013
23	36	9	0	14	43	5	20	6	F 3.0 gl 3 p = .033
24	36	9	0	14	43	3	23	9	F 3.4 gl 3 p = .028
25	36	9	0	29	43	0	22	6	F 5.0 gl 3 p = .002
									Centro- témpero- occipital
20	27	27	14	0	61	5	42	9	F 3.2 gl 3 p = .026
21	55	9	14	0	70	3	48	12	F 3.0 gl 3 p = .031
22	64	0	14	0	50	3	51	9	F 3.7 gl 3 p = .014
23	64	0	29	0	75	3	45	9	F 4.1 gl 3 p = .008
24	73	0	14	0	75	0	46	9	F 5,5 gl 3 p = .001
25	73	0	14	0	75	0	52	9	F 4.4 gl 3 p = .006

D = PA con Disminución. I = PA con Incremento gl = grados de libertad

\* Prueba ANOVA de un factor

**Parietal:** La disminución de PA de 20-25 Hz o de 21-25 Hz predijo puntuación debajo de la norma en todas las variables visuales, menos en Omisión, pero en ninguna auditiva; mientras que el incremento de PA de 12 Hz influyó en puntuación debajo de la norma en todas las variables de atención visual y en todas las auditivas menos en Variabilidad y Omisión.

Es de destacarse que en Parietal únicamente el incremento influyó la puntuación debajo de la norma en las variables auditivas.

**Centro-témpero-occipital:** Por último, la disminución de PA de frecuencias 13-25 Hz, o de 19-25 Hz influyó en puntuaciones debajo de la norma en todas las variables visuales; y la disminución de 16-

18 25 Hz y de 23-25 Hz influyeron en las puntuaciones debajo de la norma en las auditivas, en algunos minutos de la prueba. El incremento en PA de 12 Hz influyó en las puntuaciones debajo de la norma en Distrabilidad visual y Omisión visual y auditiva; el incremento de 12-13 Hz influyó en puntuaciones debajo de la norma de Comisión auditiva.

En la [Tabla 4](#) se anotan con flecha hacia abajo la PA con disminución. La flecha hacia arriba indica PA con incremento. Se anota en la corteza Frontal (F), Parietal (P) o en Centro-témporo-occipital (O) señalando cada una de las frecuencias Beta desde

12 Hz hasta 25 Hz que predijeron los errores por Comisión visual o auditiva ocurridas a los 5, 10, 15 y 20 minutos de la prueba.

Beta 16-25Hz con PA disminuida en Frontal y Centro-occipital influyeron en hiperactividad visual y auditiva; mientras que Beta 21-25Hz en Centro-témporo-occipital influyó en impulsividad visual y auditiva.

Es de señalarse que ninguna frecuencia Beta con PA desviada de la norma (por disminución o incremento) predijo la puntuación debajo de la norma en Comisión visual, ni auditiva a los 5 minutos.

**Tabla 4.** PA desviada de la norma en cada una de las frecuencias Beta, desde 12 Hz hasta 25 Hz como predictora de puntuaciones debajo de la norma en Comisión Visual y Auditiva

Frecuencias En Hz ↑↓	Comisión visual				Comisión auditiva			
	Primera mitad		Segunda mitad		Primera mitad		Segunda mitad	
	5 min	10 min	15 min	20 min	5 min	10 min	15 min	20 min
12			P↑	P↑		P↑ o↑	P↑	P↑
13			O↓			O↑		
14			F↓ O↓					
15			F↓ O↓					
16			F↓ O↓	O↓			O↓	
17			F↓ O↓	O↓			F↓	
18			F↓ O↓	O↓			F↓ O↓	
19			F↓ O↓	F↓ O↓			F↓ O↓	
20			F↓ O↓	O↓			F↓ O↓	O↓
21			F↓ ↓P O	↓ O↓		O↓	F↓ O↓	O↓
22			F↓ ↓P O					
23		O↓	F↓ ↓P O	F↓ O↓		O↓	F O↓	O↓
24		O↓	F↓ ↓P O	↓ O↓		O↓	F O↓	O↓
25		O↓	F↓ O	↓ O		O↓	F O↓	O↓

F = Frontal. P = Parietal. O = Centro-témporo-occipital.  
 Flecha hacia abajo = PA desviada de la norma por disminución.  
 Flecha hacia arriba = PA desviada de la norma por incremento.  
 Primera Mitad Comisión = Impulsividad  
 Segunda Mitad Comisión = Hiperactividad

## DISCUSIÓN

La hipótesis principal se sustentó, puesto que los niños con TDAH-C tuvieron diferente distribución en la corteza Frontal, Parietal y Centro-témporo-occipital de las frecuencias Beta aisladas tanto con PA disminuida como incrementada. La PA con disminución ocurrió significativamente más veces, que la PA con incremento; coincidiendo con lo reportado en otro trabajo (35) en que se describe que tanto la disminución como el incremento de Beta están asociados al bajo alertamiento y por tanto a inatención.

Se contestó afirmativamente la hipótesis secundaria 1, pues el uso de PA de frecuencias Beta aisladas del QEEG mostró una sensibilidad de 92,4 % para diagnosticar TDAH-C; los hallazgos parecen apoyar la idea de que el análisis de bandas fijas de Beta o Beta total pueden enmascarar funciones subyacentes (38). Sin embargo, se tiene coincidencia parcial con lo reportado por otros autores que analizan bandas fijas de Beta (11, 21, 24, 25)

La hipótesis secundaria 2 se contestó positivamente, ya que en los niños con TDAH-C hubo diferencia entre PA disminuida e incrementada en función de las frecuencias Beta aisladas y su localización cortical: el mayor número de PA disminuida ocurrió en las frecuencias Beta más altas, de 20 a 25 Hz en Centro-témporo-occipital y Frontal; mientras que el mayor número de derivaciones con PA incrementada ocurrió en las frecuencias Beta aisladas más bajas, de 12 Hz y 13 Hz en tParietal y Centro-témporo-occipital. La explicación probablemente sea el diferente origen en la generación de las frecuencias Beta de 12 Hz y de 25 Hz (13, 39); o debido a las funciones diferentes asociadas a las frecuencias Beta menores de 20 Hz y mayores de 20 Hz (40, 42). Así las frecuencias Beta aisladas de 20 Hz a 25 Hz con disminución y de 12 Hz y 13 Hz con incremento, pueden ser consideradas marcadores biológicos en los niños con TDAH-C. Contestando positivamente la hipótesis secundaria 3.

La hipótesis secundaria 4 se contestó afirmativamente puesto que los niños con TDAH-C mostraron un perfil de inatención visual inferior al de inatención auditiva en todas las variables,

menos en Comisión, que fue inferior en auditiva que en visual. TOVA-V fue más sensible (86%) que TOVA-A (58%) para el diagnóstico de TDAH-C. Las puntuaciones más bajas ocurrieron en Variabilidad visual con 78 niños (60%) y Tiempo de Respuesta visual con 58 niños (44%) con puntuación debajo de la norma. Los hallazgos coinciden con otros autores (51, 52) quienes encontraron que la puntuación debajo de la norma en Variabilidad y Tiempo de Respuesta caracterizaron a los niños con TDAH-C, sugiriendo se les considere como marcadores biológicos de esos niños. Una probable explicación es que la Variabilidad refleje el flujo ineficiente de información al realizar una tarea (53); implicando inconsistencia de atención por falla en el mecanismo de autorregulación de la atención.

La hipótesis secundaria 5 se sustentó, ya que los niños con TDAH-C mostraron diferencias en las frecuencias Beta alteradas y su localización cortical según tuvieran inatención visual, auditiva o ambas. En los 11 niños con atención visual y auditiva dentro de límites normales a pesar de tener PA Beta desviada de la norma pudiera indicar la existencia de resiliencia.

Los resultados obtenidos pueden ser útiles en el tratamiento de niños con TDAH-C con neurofeedback (54) en forma individualizada según la frecuencia Beta alterada, en el área cortical precisa, logrando mejorar la inatención visual o auditiva con puntuación debajo de la norma.

El estudio es importante, además, porque pudiera explicar la controversia entre disminución (22, 23) o incremento (14) de PA Beta en niños con TDAH-C; los resultados mostraron que tanto la disminución como el incremento ocurren en los niños con TDAH-C. Los niños en este estudio tuvieron disminución en las frecuencias Beta altas (20-25 Hz), las cuales influyeron mayormente en la inatención visual; que resultó ser la más frecuente. El incremento ocurrió en frecuencias de 12-13 Hz e influyó mayormente en la inatención auditiva, que fue menos frecuente. Los hallazgos coinciden parcialmente con los obtenidos por otros autores (11, 22, 23, 35) y parcialmente con lo reportado en otros estudios (12, 36) en cuanto a la localización cortical alterada.

La hipótesis secundaria 6 se contestó afirmativamente puesto que la inatención a la iniciación del movimiento, (impulsividad) y la inatención a la inhibición del movimiento (hiperactividad) fueron influenciadas por distintas frecuencias Beta aisladas, tanto en la modalidad visual como en la auditiva. De acuerdo con Koppell et al. (19) los diferentes ritmos corticales tienen diferentes funciones lo que parece ser la explicación de que distintas frecuencias Beta con PA desviada de la norma en distintas áreas corticales pronosticaron dos alteraciones de la atención al movimiento, una por anticipación o sea la impulsividad y otra por falla en la inhibición, es decir la hiperactividad. La impulsividad ha sido asociada con la corteza anterior del cíngulo (55) y puede registrarse en la derivación Fpz (56, 57, 58); esa derivación no se registró en este estudio, lo que puede explicar que ninguna frecuencia Beta en ninguna derivación influenciara Comisión a los 5 minutos.

Con base en lo anteriormente expuesto, consideramos que se lograron los objetivos planteados en el estudio.

El artículo aportó información al conocimiento de los niños con TDAH-C, señalando que tanto la disminución como el incremento de la PA de las frecuencias Beta aisladas predijeron puntuaciones por debajo de la norma en diferentes tipos de atención, apoyando lo reportado por otros autores (6, 13, 25, 59, 60) quienes señalan que el incremento no genera un hiperalertamiento sino también inatención.

Los tres síntomas cardinales del TDAH-C fueron pronosticados probabilísticamente por frecuencias específicas Beta aisladas con PA desviadas de la norma y en diferentes derivaciones corticales, como se describió en la sección de resultados. Aún más, la frecuencia Beta con PA desviada de la norma fue diferente para predecir la inatención visual y la inatención auditiva.

Se sabe que en C3, Cz y C4 se puede registrar las áreas de Brodman (AB) 1, 2, 3 encargadas de la propiocepción de dedos y que en Cz junto con Fz se registra AB 6 asociada con atención a la acción (36); lo que puede explicar los hallazgos con RNPM, que distinguió la corteza Centro-témporo-occipital

como la de mayor influencia en inatención visual y auditiva.

Se ha documentado que en T3 y T4 probablemente se registren AB 21, 22 y 42 vinculadas en el hemisferio izquierdo con la amígdala e hipocampo (55), estructuras que reciben información del lóbulo occipital. Lo que explicaría la participación del área cortical Centro-témporo-occipital en la predicción de inatención visual.

En esa misma línea de pensamiento, se sabe que las derivaciones Fp1 y Fp2 probablemente registren la corteza Órbita Frontal Lateral (AB 10), asociada con atención dirigida por otro (join attention), AB 11 y 46, asociadas a focalización y atención a la acción; ambas forman parte de las variables de TOVA. Las derivaciones F3 y F4 probablemente registren AB 8, 9 y 46 (en hemisferio derecho) asociadas a vigilancia, atención selectiva y sostenida, que son valoradas con Omisión a los 5 y 10 minutos, con distraibilidad y Tiempo de Respuesta a los 20 minutos respectivamente. La derivación Fz probablemente registre AB 6, 8 y 9 asociadas a atención interna contra atención externa o autorregulación de la atención, que se valora con Variabilidad. En las derivaciones F7 y F8 quizás se registren las AB 45, 46 y 47 vinculadas con atención selectiva (33); el AB 47 derecha es vinculada con atención a la inhibición del movimiento (que se valora con errores de Comisión a los 15 y 20 minutos), al procesamiento auditivo y al conflicto de refuerzo, por lo que las puntuaciones debajo de la norma de todas las variables de atención visual y algunas de atención auditiva puedan predecirse por la disminución de la PA de varias frecuencias Beta aisladas en Frontal.

De lo mencionado en el párrafo anterior, es claro que varias áreas están asociadas a distintos procesos de atención (61) y que esas mismas áreas, están asociadas a otras funciones que regulan los lóbulos Frontales.

Por otro lado, hay estudios que señalan la participación de una red Fronto-Parieto-Occipital vinculada con atención (29), lo que podría explicar que tanto la disminución como el incremento de la PA de frecuencias Beta aisladas en Parietal y en Centro-témporo-occipital predigan puntuación

debajo de la norma en variables visuales, y en menor medida auditivas.

El incremento de PA de 12 Hz en Frontal y Centro-témporo-occipital predijeron a los 20 minutos Omisión Auditiva; mientras que en Parietal lo hicieron para Omisión Visual; en esa parte de la prueba el estímulo blanco aparece muy seguido, por lo que se valora el proceso de alerta fásica, pudiendo tratarse de dos redes neuronales, una para visual y otra para auditiva. Se ha encontrado correlación inversa entre la frecuencia de 12 Hz (considerada alfa por algunos autores) y el estado de alerta; es decir a mayor incremento, corresponde menor alertamiento (62) y esa puede ser la explicación a los hallazgos reportados en este trabajo.

La diferente predicción de puntuación debajo de la norma en variables de atención visual y auditiva por la disminución versus el incremento de la PA de las frecuencias Beta aisladas y la diferente distribución en Frontal, Parietal y Centro-témporo-occipital, puede deberse a que se esté frente a redes distintas y específicas para la atención visual versus la atención auditiva, o bien acorde con otros autores (63) se puede suponer que diferentes frecuencias (12 Hz) de Beta tengan diferentes orígenes (20-25 Hz) y diferente participación en la atención (64).

Se debe señalar como limitación del estudio la falta de análisis de los datos separados por edades, pues el EEG en reposo cambia con la edad (65), aunque puede mencionarse a favor el hecho de que la alteración en el ritmo Beta es una característica de los niños con TDAH-C, inclusive en la adolescencia (59) y se debe a un patrón de maduración diferente. Puede señalarse como otra limitante la falta de comprobación de las predicciones hechas por el modelo RNAPM en cada uno de los niños; así como la validación de esa prueba con el uso de regresión.

## CONCLUSIONES

La sensibilidad para TDAH-C del QEEG usando PA de las frecuencias Beta aisladas fue de 92,4%. Hubo mayor número de derivaciones con PA desviada de la norma por disminución que por incremento en todas las áreas corticales, pero la diferencia fue significativa en Frontal y en Centro-témporo-occipital, pero no en Parietal. El mayor

número de derivaciones con disminución ocurrió en las frecuencias Beta aisladas de 20 a 25 Hz en la corteza Centro-témporo-occipital; mientras que el de incremento fue en las frecuencias de 12 y 13 Hz en la corteza Parietal.

La prueba TOVA-V tuvo sensibilidad de 86,3%; mientras que la Prueba TOVA-A la tuvo de 58% para diagnosticar niños con TDAH-C.

La inatención visual tuvo puntuaciones significativamente más bajas que la inatención auditiva en todas las variables, menos en Comisión en que fue más baja en auditiva.

Las dos variables de atención en que mayor número de niños tuvieron puntuación debajo de la norma fueron Variabilidad y Tiempo de Respuesta visual.

Los hallazgos confirman que los niños varones con TDAH-C muestran un perfil en el QEEG propio, heterogéneo aún en una muestra acotada para lograr homogeneidad, y es diferente al valor normado en niños sanos.

El uso de RNPM permitió afirmar que la PA disminuida en las frecuencias Beta de 20 Hz a 25 Hz puede influenciar selectivamente en las variables de inatención visual.

Los resultados apuntan a la identificación en las frecuencias Beta de 20 a 25Hz con PA disminuida en Centro-témporo-occipital y Frontal; así como de Beta de 12 y 13 Hz con PA incrementada en Parietal; junto con Variabilidad y Tiempo de Respuesta visuales como biomarcadores del TDAH-C.

De este modo, los datos obtenidos con la PA de cada una de las frecuencias Beta pueden contribuir a comprender mejor el trastorno, teniendo en cuenta que la identificación de biomarcadores apoyará el diagnóstico preciso en cada niño con TDAH-C, el uso de la terapia no farmacológica con tecnología de punta que regule la actividad eléctrica cerebral y por tanto la desviación de la norma en la atención a la información y en la atención a la iniciación e inhibición del movimiento.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no existir conflicto de interés ni de tipo personal, ni institucional, ni tampoco de tipo económico.

**AGRADECIMIENTOS**

Reconocimiento a la Dra. Tanya Morosoli Humbert por la revisión de los EEGc. Agradecimiento a la Sra. Irma López Saura por el análisis estadístico de los datos con Redes neuronales artificiales perceptron multicapas.

Subvención: Agradecimiento a CONACYT por la Beca como estudiante de doctorado CONACyT # 189262 (septiembre de 2004 a enero del 2009). Beca-Permiso Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado septiembre 2005 septiembre 2007

**REFERENCIAS**

1. Sayal K, Prasad V, Daley D, Ford T, Coghill D. ADHD in children and young people: prevalence, care pathways, and service provision. *Lancet Psychiatry*. 2018; 5(2). [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(17\)30167-0](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(17)30167-0)
2. Gallardo-Saavedra GA, Martínez-Wbaldo MDC, Padrón-García AL. Prevalence of ADHD in Mexican schoolchildren through screening with Conners scales 3. *Actas Esp Psiquiatr*. 2019; 47(2): 45-53.
3. American Psychiatric Association, APA. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5) 2013-2020* Arlington: APA.
4. Galiana-Simal A, Vecina-Navarro P, Sánchez-Ruiz P, Vela-Romero M. Electroencefalografía cuantitativa como herramienta para el diagnóstico y seguimiento del paciente con trastorno por déficit de atención/hiperactividad. *Rev Neurol*. 2020; 70(06): 197-205. <https://doi.org/10.33588/rn.7006.2019311>
5. Sanei S, Chambers JA. *EEG signal processing* Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd.; 2007. Online ISBN:9780470511923. <https://doi.org/10.1002/9780470511923>
6. Lopes Da Silva F. EEG and MEG: relevance to neuroscience. *Neuron*. 2013; 80(5): 1112-28. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.10.017>
7. Steriade M. Grouping of brain rhythms in corticothalamic systems. *Neuroscience*. 2006; 137(4): 1087-106. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.10.029>
8. Mizuseki K, Sirota A, Pastalkova E, Buzsáki G. Theta oscillations provide temporal windows for local circuit computation in the entorhinal-hippocampal loop. *Neuron*. 2009; 64(2): 267-80. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.08.037>
9. Amzica F, Lopes da Silva FH. *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields*. En Niedermeyer E, editor. *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2011. 33-63.
10. Barry RJ, Clarke AR, Johnstone SJ. A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: I. Qualitative and quantitative electroencephalography. *Clin Neurophysiol*. 2003; 114(2): 171-83. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(02\)00362-0](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(02)00362-0)
11. Clarke AR, Barry RJ, Johnstone S. Resting state EEG power research in Attention-Deficit / Hyperactivity Disorder: A review update. *Clin Neurophysiol*. 2020; 131(7): 1463-79. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.03.029>
12. Clarke AR, Barry RJ, Dupuy FE, McCarthy R, Selikowitz M, Heaven PCL. Childhood EEG as a predictor of adult attention-deficit/hyperactivity disorder. *Clin Neurophysiol*. 2011; 122(1): 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2010.05.032>
13. Ortiz-Pérez A, Moreno-García I. Perfil electroencefalográfico de niños con TDAH. *RPCNA*. 2015; 2(2): 129-34.
14. Cheng QR, Shen HJ, Tu WJ, Zhang QF, Dong X. Electroencefalogram power development of cognitive function at age 7 to 12 years: a comparative study between attention deficit hyperactivity disorder and healthy children (Article in Chinese). *Zhonghua Er Ke Za Zhi*. 2016; 54(12): 913-16. <https://doi.org/10.3760/cm.a.j.issn.0578-1310.2016.12.008>
15. Halawa IF, El Sayed BB, Amin OR, Meguid NA, Abdel Kader AA. Frontal theta/beta ratio changes during TOVA in Egyptian ADHD children. *Neurosciences (Riyadh)*. 2017; 22(4): 287-91. <https://doi.org/10.17712/nsj.2017.4.20170067>
16. Rodríguez-Martínez EI, Angulo-Ruiz BY, Arjona-Valladares A, Rufo M, Gómez-González

- J. Frequency coupling of low and high frequencies in the EEG of ADHD children and adolescents in close and open eyes conditions. *Res Dev Disabil.* 2020; 96(103520).  
<https://doi.org/10.1016/j.ridd.2019.103520>
17. Newson JJ, Thiagarajan TC. EEG Frequency Bands in Psychiatric Disorders: A Review of Resting State Studies. *Front Hum Neurosci.* 2019; 12(521).  
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00521>
  18. Bashiri A, Shahmoradi L, Beigy H, Savareh BA, Nosratabadi M, N Kalhori SR, et al. Quantitative EEG features selection in the classification of attention and response control in the children and adolescents with attention deficit hyperactivity disorder. *Future Sci OA.* 2018; 4(5): FSO292.  
<https://doi.org/10.4155/fsoa-2017-0138>
  19. Kopell N, Kramer MA, Malerba P, Whittington MA. Are different rhythms good for different functions? *Front Hum Neurosci.* 2010; 4(187).  
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00187>
  20. Clarke AR, Barry JR, McCarthy R, Selikowitz M. EEG-defined subtypes of children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Clin Neurophysiol.* 2001; 112(11): 2098-105.  
[https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(01\)00668-x](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(01)00668-x)
  21. Monastra VJ, Lubar JF, Linden M, VanDeusen P, Green G, Wing W, et al. Assessing attention deficit hyperactivity disorder via quantitative electroencephalography: an initial validation study. *Neuropsychology.* 1999; 13(3): 424-433.  
<https://doi.org/10.1037/0894-4105.13.3.424>
  22. Magee CA, Clarke AR, Barry RJ, McCarthy R, Selikowitz M. Examining the diagnostic utility of EEG power measures in children with attention deficit/hyperactivity disorder. *Clin Neurophysiol.* 2005; 116(5): 1033-40.  
<https://doi.org/10.1016/j.clinph.2004.12.007>
  23. Snyder SM, Rugino TA, Horning M, Stein MA. Integration of an EEG biomarker with a clinician's ADHD evaluation. *Brain Behav.* 2015; 5(4). <https://doi.org/10.1002/brb3.330>
  24. Buyck I, Wiersema JR. Resting electroencephalogram in attention deficit hyperactivity disorder. *Psychiatry Res.* 2014; 216(3): 391-7.  
<https://doi.org/10.1016/j.psychres.2013.12.055>
  25. Mowlem FD, Rosenqvist MA, Martin J, Lichtenstein P, Asherson P, Larsson H. Sex differences in predicting ADHD clinical diagnosis and pharmacological treatment. *Eur. Child. Adolesc. Psychiatry.* 2019; 28(4): 481-9.  
<https://doi.org/10.1007/s00787-018-1211-3>
  26. Ghaderi AH, Nazari MA, Shahrokhi H, Darooneh AH. Functional Brain Connectivity Differences Between Different ADHD Presentations: Impaired Functional Segregation in ADHD-Combined Presentation but not in ADHD-Inattentive Presentation. *Basic Clin Neurosci.* 2017; 8(4): 267-78.  
<https://doi.org/10.18869/nirp.bcn.8.4.267>
  27. Aldemir R, Demirci E, Per H, Canpolat M, Özmen S, M T. Investigation of attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) sub-types in children via EEG frequency domain analysis. *Int J Neurosci.* 2018; 128(4): 349-60.  
<https://doi.org/10.1080/00207454.2017.1382493>
  28. Congredo M, Lubar JF. Parametric and non-parametric analysis of QEEG: Normative database. *Journal of Neurotherapy.* 2003; 7(3-4): 1-29.
  29. Siegel M, Donner TH, Oostenveld R, Fries P, Engel AK. Neuronal synchronization along the dorsal visual pathway reflects the focus of spatial attention. *Neuron.* 2008; 60(4): 709-19.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.09.010>
  30. Shin H, Law R, Tsutsui S, Moore CI, Jones SR. The rate of transient beta frequency events predicts behavior across tasks and species. *ELife.* 2017; 6: e29086.  
<https://doi.org/10.7554/eLife.29086>
  31. Tzagarakis C, Thompson A, Rogers RD, Pellizzer G. The Degree of Modulation of Beta Band Activity During Motor Planning Is Related to Trait Impulsivity. *Front Integr Neurosci.* 2019; 13(1).  
<https://doi.org/10.3389/fnint.2019.00001>
  32. Sherman MA, Lee S, Law R, Haegens S, Thorn CA, Hämäläinen MS, et al. Neural mechanisms of transient neocortical beta rhythms: Converging evidence from humans, computational modeling, monkeys, and mice. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2016; 113(33): 4885-94.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1604135113>

33. Kim J, Lee Y, Han D, Min K, Kim D, Lee C. The utility of quantitative electroencephalography and Integrated Visual and Auditory Continuous Performance Test as auxiliary tools for the Attention Deficit Hyperactivity Disorder diagnosis. *Clin Neurophysiol.* 2015; 126(3): 532-40.  
<https://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.06.034>
34. Sangal RB, Sangal JM. Use of EEG Beta-1 Power and Theta/Beta Ratio Over Broca's Area to confirm Diagnosis of Attention Deficit/Hyperactivity Disorder in Children. *Clin EEG Neurosci.* 2015; 46(3): 177-82.  
<https://doi.org/10.1177/1550059414527284>
35. Clarke AR, Barry RJ, Dupuy FE, McCarthy R, Selikowitz M, Johnstone SJ. Excess beta activity in the EEG of children with attention-deficit/hyperactivity disorder: a disorder of arousal? *Int. J. Psychophysiol.* 2013; 89(3):314-19.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.04.00>
36. Kamida A, Shimabayashi K, Oguri M, Takamori T, Ueda N, Koyanagi Y, et al. EEG power spectrum analysis in children with ADHD. *Yonago Acta Med.* 2016; 59(2): 169-73.
37. R MM, Khaleghi A, Nasrabadi AM, Rafieivand S, Begol M, Zarafshan H. EEG classification of ADHD and normal children using non-linear features and neural network. *Biomed Eng Lett.* 2016; 6(2): 66-73.  
<https://doi.org/10.1007/s13534-016-0218-2>
38. Saad JF, Kohn MR, Clarke S, Lagopoulos J, Hermens DF. Is the Theta/Beta EEG Marker for ADHD Inherently Flawed? *J Atten Disord.* 2018; 22(9): 815-26.  
<https://doi.org/10.1177/1087054715578270>
39. Spitzer B, Haegens S. Beyond the Status Quo: A Role for Beta Oscillations in Endogenous Content (Re)Activation. *eNeuro.* 2017; 4(4).  
<https://doi.org/10.1523/ENEURO.0170-17.2017>
40. Kilavik BE, Zaepffel M, Brovelli A, MacKay WA, Riehle A. The ups and downs of  $\beta$  oscillations in sensorimotor cortex. *Exp Neurol.* 2013; 245: 15-26.  
<https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2012.09.014>
41. Thatcher RW. *Software Neuroguide 2.8.1: Applied Neuroscience, Inc; 1998-2020.*
42. García-Monge A, Rodríguez-Navarro H, González-Calvo G, Bores-García D. Brain Activity during Different Throwing Games: EEG Exploratory Study. *Int J Environ Res Public Health.* 2020; 17(18): 6796.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph17186796>
43. Biederman J, Mick E, Faraone SV, Braaten E, Doyle A, Spencer T, et al. Influence of gender on attention deficit hyperactivity disorder in children referred to a psychiatric clinic. *Am J Psychiatry.* 2002; 159(1): 36-42.  
<https://doi.org/10.1176/appi.ajp.159.1.36>
44. Rueda MR, Fan J, McCandess BD, Halperin JD, Gruber DB, Lercari LP et al. Development attentional networks in childhood. *Neuropsychologia.* 2004; 42(8): 1029-40. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.12.012>
45. *Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales DSM-IV-TR. Texto revisado. Cuarta ed. Barcelona: Mason; 2002-2013.*
46. Farré A, Narbona J. *Escalas para la evaluación del trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (EDAH). Séptima ed. Madrid: Tea Ediciones; 2013.*
47. Wechsler D, Flanagan D, Kaufman A. *WISC-IV. Escala de Inteligencia de Wechsler para niños - IV: Manual técnico y de interpretación / David Wechsler. Cuarta ed. Madrid: Tea Ediciones; 2005-2019.*
48. Lark R, Dupuy T, Greenberg L, Corman C, Kindschi C. *T.O.V.A. Test of Variables of Attention Professional Manual / Clinical Guide. Primera ed.: Universal Attention Disorders, Inc; 2000.*
49. Greenberg LM, Waldman ID. Developmental normative data on the test of variables of attention (T.O.V.A.). *J Child Psychol Psychiatry.* 1993; 34(6): 1019-30. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1993.tb01105.x>
50. *Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) software V.25; 2019.*
51. Machida K, Murias M, Johnson K. Electrophysiological Correlates of Response Time Variability During a Sustained Attention Task. *Front. Hum. Neurosci.* 2019; 13: 363.  
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00363>

52. Zulueta A, Torrano F, López Fernández V, Crespo-Eguílaz N. Tiempo de reacción y variabilidad intraindividual en el tiempo de reacción de niños con trastorno por déficit de atención y/o hiperactividad. *Rev Mex de Psicol.* 2019; 36(1):17-29.
53. Russell VA, Oades RD, Tannock R, Killeen PR, Auerbach JG, et al. Response variability in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: a neuronal and glial energetics hypothesis. *Behav Brain Funct.* 2006; 2: 30.  
<https://doi.org/10.1186/1744-9081-2-30>
54. Núñez-Jaramillo L, Herrera-Solís A, Herrera-Morales WV. ADHD: Reviewing the Causes and Evaluating Solutions. *J Pers Med.* 2021; 11(3): 166. <https://doi.org/10.3390/jpm11030166>
55. Badgaiyan RD, Sinha S, Sajjad M, Wack DS. Attenuated Tonic and Enhanced Phasic Release of Dopamine in Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *PLoS One.* 2015; 10(9): e0137326. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137326>
56. Thatcher RW (2010-2020). Symptom Check List and Functional Specialization in the Brain Link Between Structure and Function: Software Neuroguide Copyright ©; 2010-2020.
57. Steinberg B, Blum K, McLaughlin T, Lubar J, Febo M, Braverman ER, et al. Low-Resolution Electromagnetic Tomography (LORETA) of changed Brain Function Provoked by Pro-Dopamine Regulator (KB220z) in one Adult ADHD case. *Open J Clin Med Case Rep.* 2016; 2(11): 1121.
58. Latest developments in live z-score training: Symptom check list, phase reset, and LORETA z-score biofeedback. *Journal of Neurotherapy.* 2013; 17(1): 69-87.  
<https://doi.org/10.1080.10874208.2013.759032>
59. Hobbs MJ, Clarke AR, Barry RJ, McCarthy R, Selikowitz M. EEG abnormalities in adolescent males with AD/HD. *Clin. Neurophysiol.* 2007; 118(2): 363-71.  
<https://doi.org/10.1016/j.clinph.2006.10.013>
60. Chiang CT, Ouyang CS, Yang RC, Wu RC, Lin LC. Increased Temporal Lobe Beta Activity in Boys with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder by LORETA. *Analysis. Front. Behav. Neurosci.* 2020; 14: 85.  
<https://doi.org/10.3389/fnbeh.2020.00085>
61. Lindsay GW. Attention in Psychology, Neuroscience, and Machine Learning. *Front. Comput. Neurosci.* 2020; 14: 29.  
<https://doi.org/10.3389/fncom.2020.00029>
62. Barry RJ, De Blasio FM, Fogarty JS, Clarke AR. Natural alpha frequency components in resting EEG and their relation to arousal. *Clin Neurophysiol.* 2020; 131(1): 205-12.  
<https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.10.018>
63. Neuper C, Pfurtscheller G. Event-related dynamics of cortical rhythms: frequency-specific features and functional correlates. *Int J Psychophysiol.* 2001; 43(1): 41-58.  
<https://doi.org/10.1016/S0167-8760>
64. Fu D, Weber C, Yang G, Kerzel M, Nan W, Barros P, et al. What Can Computational Models Learn from Human Selective Attention? A Review from an Audiovisual Unimodal and Crossmodal Perspective. *Front Integr Neurosci.* 2020; 14: 10.  
<https://doi.org/10.3389/fnint.2020.00010>
65. Giertuga K, Zakrzewska MZ, Bielecki M, Racicka-Pawlukiewicz E, Kossut M, Cybulska-Klosowicz A. Age-Related Changes in Resting-State EEG Activity in Attention Deficit/Hyperactivity Disorder: A Cross-Sectional Study. *Front Hum Neurosci.* 2017; 11: 285.  
<https://doi.org/10.3389%2Ffnhum.2017.00285>