



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Medicina

Evaluación con tareas de *timing* en niños con Trastorno
por Déficit de Atención e Hiperactividad

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestra en Ciencias en Neurometabolismo

Presenta

LP. Karla Zárate Gómez

Dirigida por:

Mtra. Lorena García Noguez

Querétaro, Qro. A 21 de agosto 2021



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Medicina

Maestría en Ciencias en Neurometabolismo

Evaluación con tareas de *timing* en niños con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de Maestra en Ciencias en Neurometabolismo

Presenta

LP. Karla Zárate Gómez

Dirigido por

Mtra. Lorena García Noguez

Mtra. Lorena Asucena García Noguez
Presidente

Mtra. Cinthia Lezama Espinosa
Secretario

Dra. Gabriela Calderón Guerrero
Vocal

Dra. Nancy Georgina Hernández Chan
Suplente

Dr. Nicolás Camacho Calderón
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Fecha de aprobación por el Consejo Universitario (septiembre 2021)
México

Para L., por compartir tu tiempo, tu paciencia y tu fuerza conmigo.

A mis padres y mi hermana, por su amor y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a el *CONACYT* por el apoyo brindado durante la realización del posgrado Maestría en Ciencias en Neurometabolismo.

Agradezco a la *UAQ* y a la Facultad de Medicina, por la formación académica y apoyo educativo.

Agradezco a mi asesora de tesis, la Mtra. Lorena García Noguez, por construir conocimiento juntas y por sus valiosas observaciones, cuestionamientos y guía. A la Mtra. Cinthia Lezama Espinosa, por su colaboración estrecha con el proyecto, sus aportaciones y tiempo dedicado.

Agradezco al Ing. Roberto García, por su colaboración para la elaboración del software *ritmoV*, herramienta clave para este proyecto.

Gracias a los sinodales, Dra. Gabriela Calderón Guerrero, por sus observaciones y retroalimentación, Dra. Nancy Hernández Chan, por su interés y asesorías para el proyecto, al Dr. Nicolás Camacho Calderón, por su apoyo y acompañamiento en el proyecto y el posgrado. A la Dra. Zaldivar, directora de la Facultad, por su intervención y apoyo.

Agradezco a los docentes de la Maestría en Ciencias en Neurometabolismo la dedicación a su cátedra.

ÍNDICE

I.	RESUMEN.....	7
II.	ABSTRACT	8
III.	INTRODUCCIÓN	9
IV.	ANTECEDENTES.....	11
	<i>Epidemiología del TDAH.....</i>	13
	<i>Perspectivas sobre la etiología del TDAH.....</i>	14
	<i>Sobre la fisiopatología del TDAH.....</i>	16
	<i>Cuadro clínico del TDAH.....</i>	19
	<i>Clasificación diagnóstica y tratamiento del TDAH.....</i>	23
	Uso del electroencefalograma	26
	Tratamiento farmacológico	27
	<i>Timing y SET</i>	29
V.	HIPÓTESIS.....	41
VI.	OBJETIVOS.....	41
VII.	METODOLOGÍA.....	41
	<i>Sujeto experimental.....</i>	41
	Sobre el sujeto experimental.....	41
	<i>Diseño experimental: Reporte de casos.....</i>	42
	<i>Modelo de evaluación: ritmoV.....</i>	42
	El estímulo visual.....	43
	El estímulo auditivo	44
	Patrón rítmico.....	44
	Prueba Piloto.....	46
VIII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	48
	<i>Aplicación e instrumentos.....</i>	48
	<i>Descripción de casos.....</i>	51
IX.	DISCUSIÓN.....	76
X.	CONCLUSIONES.....	80
XI.	REFERENCIAS	82
XII.	ANEXOS.....	89
	Anexo 1. Resumen de resultados por pista.....	90
	Anexo 2. Resumen de resultados por pista.....	93
	Anexo 3. Resumen de resultados de las tres pistas por ensayo	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de factores genéticos y ambientales asociados a la etiología del TDAH.	15
Figura 2. Representación de las principales vías dopaminérgicas	17
Figura 3. Representación de las alteraciones en neuronas dopaminérgicas en TDAH	18
Figura 4. Esquema del modelo de atención de Posner adaptado de Wang & Fang (2017).	20
Figura 5. Esquema de las dimensiones involucradas en las características del TDAH.....	23
Figura 6. Esquema de sucesión y duración de los eventos temporales (Fraisse, 1984).	30
Figura 7. Esquema de operación propuesta por la SET.	33
Figura 8. Esquema del modelo de dos procesos de la respuesta de timing de Wing (1980).	35
Figura 9. Representación visual de los elementos rítmicos	37
Figura 10. Esquema que representa el error en el patrón rítmico.	43
Figura 11. Esquema de la tarea utilizada en ritmoV.....	45
Figura 12. Gráfica de resultados en Escala Conners del caso 1	52
Figura 13. Gráfica de Resultados de BANETA del caso 1	53
Figura 14. Gráfico radial de sincronización motora del caso 1.....	54
Figura 15. Gráfico radial de tiempo de respuesta motora del caso 1.....	55
Figura 16. Gráfica de Resultados de Escala Conners del caso 2	57
Figura 17. Gráfica de Resultados de BANETA del caso 2	58
Figura 18. Gráfico radial de sincronización motora del caso 2.....	59
Figura 19. Gráfico radial de tiempo de respuesta motora del caso 2.....	60
Figura 20. Gráfica de Resultados de Escala Conners del caso 3	62
Figura 21. Gráfica de Resultados de BANETA del caso 3.....	63
Figura 22. Gráfico radial de tiempo de respuesta motora del caso 3.....	64
Figura 23. Gráfico radial de tiempo de respuesta motora del caso 3.....	65
Figura 24. Gráfica de Resultados de Escala Conners del caso 4.....	67
Figura 25. Gráfica de Resultados de BANETA del caso 4.....	68
Figura 26. Gráfico radial de sincronización motora del caso 4.....	69
Figura 27. Gráfico radial de tiempo de respuesta motora del caso 4.....	70
Figura 28. Gráfica de Resultados de Escala Conners del caso 5.....	72
Figura 29. Gráfica de Resultados de BANETA del caso 5.....	73
Figura 30. Gráfico radial de sincronización motora del caso 5.....	74
Figura 31. Gráfico radial de tiempo de respuesta motora del caso 5.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla adaptada del Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales 5 ^a edición, 2014. Criterios diagnósticos para identificar el cuadro clínico en el DSM-5	25
Tabla 2. Tabla adaptada de Clasificación Internacional de Enfermedades para las Estadísticas de Mortalidad y Morbilidad (2019). Criterios diagnósticos para identificar el cuadro clínico en la CIE-11.	26
Tabla 3. Patrón rítmico en ritmoV.....	44
Tabla 4. Escala Conners Padres/Hogar	52
Tabla 5. Resultados de BANETA en percentiles	53
Tabla 6. Escala Conners Padres/Hogar	56
Tabla 7. Resultados de BANETA en percentiles.....	58
Tabla 8. Escala Conners Padres/Hogar	61
Tabla 9. Resultados de BANETA en percentiles.....	62
Tabla 10. Escala Conners Padres/Hogar	66
Tabla 11. Resultados de BANETA en percentiles.....	67
Tabla 12. Escala Conners Padres/Hogar	71
Tabla 13. Resultados de BANETA en percentiles.....	72

I. RESUMEN

El Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) es una patología neuroconductual caracterizada por manifestaciones de inatención, hiperactividad-impulsividad. El diagnóstico y la intervención usualmente están enfocados en los dominios cognitivos afectados en la patología. Sin embargo, diversas investigaciones brindan evidencia que sugiere que el trastorno cursa con impedimentos motores, particularmente de control, planeación motora, motricidad fina, y coordinación del movimiento, que no suelen ser parte de la valoración ni del esquema de intervención. Una de las herramientas para evaluar la respuesta motora es por medio de tareas de *timing* que evalúan la sincronización motora; en dichas tareas se presentan ritmos con los que se debe interactuar a partir del movimiento fino. La presente propuesta es un reporte de casos de cinco pacientes con TDAH evaluados mediante sincronización rítmica a partir del desarrollo del software *ritmoV*, que integra secuencias de ritmo isocrónico visuales y auditivas con un esquema de teclas para emitir la respuesta motora, a fin de profundizar en la descripción de las dificultades en la motricidad del trastorno.

Palabras clave: TDAH, ritmo, sincronización rítmica, conducta motora

II. ABSTRACT

Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD) is a neurological behavior pathology characterized by inattention, impulsivity/hyperactivity. Diagnosis and intervention are usually related to the impaired cognitive domains in the pathology. Nevertheless, evidence from several investigations suggest that ADHD has motor deficiencies as well, particularly in motor control and planning, fine motor skills, and coordination of movement, yet a motor assessment is not part of the examination nor intervention. One of the techniques for evaluating motor response is timing which is based on motor synchronization to an auditory or visual rhythmic stimulus, in which fine motor movements are necessary. The present research is a case report of five male patients with ADHD evaluate in rhythmic synchronization with a software called *ritmoV* that integrates isochronic rhythms sequences of visual and auditory stimuli and a set of keys to interact and deliver the motor response, in order to describe motor deficiencies within the pathology.

Key words: ADHD, rhythm, synchronization, motor behavior

III. INTRODUCCIÓN

En 1946 Piaget afirmó “el tiempo no es una dimensión primitiva que pueda ser directamente percibida, si no que se infiere desde la coordinación de los movimientos en el espacio” (Droit-Volet, 2012, p. 220), así las personas habitualmente interactuamos con el tiempo a partir de respuestas motoras en el espacio, siendo la percepción de la duración y la sucesión del tiempo la pauta para dicha interacción. Desde la psicología del tiempo se ha estudiado de manera exhaustiva la percepción del mismo y recientemente, dentro de los estudios de las ciencias cognitivas, se han incorporado principios como el *timing* motor, el cual sistematiza dentro de un paradigma ampliamente aceptado, tareas que permiten estudiar el proceso de percepción y sincronización temporal a partir de la conducta motora (Merchant & de Lafuente, 2014; Noreika et al., 2012; Schubotz et al., 2000).

La sucesión temporal es característica de la forma en la que el ser humano estructura el tiempo, sin embargo, aunque el tiempo realmente no sucede de manera lineal (pasado, presente y futuro), nuestro sistema cognitivo lo registra de ese modo, organizando los eventos de forma secuencial a fin de almacenarlos en la memoria y poder hacer uso de los mismos siempre que sea necesario. Si bien, otras teorías como la Teoría de la Atención Dinámica (DAT) explican el proceso de adaptación temporal, para este trabajo se tomó como referencia la integración de la memoria en el proceso y por ello se retoma la Teoría de *Timing* Escalar (SET) pues se adapta mejor a la explicación del fenómeno.

La música es una forma de estructurar la organización de los eventos en el tiempo, como diría Rovelli (2018) “la música sólo tiene sentido en el tiempo” y a su vez, el tiempo puede expresarse a cabalidad en la música, ya que esta es capaz de expresar su sentido original, pues permite trascender la concepción lineal. Ejemplo de ello, es el Canon en perpetuo ascenso de Johann Sebastian Bach (Hofstadter, 1979) en el que la composición mantiene un patrón que intercambia las notas de los acordes de tal forma que sea un bucle infinito en el que un movimiento, que asciende

y desciende, da la impresión de que nos encontramos en el punto de partida cuando aparentemente habíamos terminado la pieza, en la física, se describe al tiempo de forma similar y se representa de forma circular, tal como en el Canon de Bach. En medio de esta complejidad de la música, es posible extraer algunos elementos como el ritmo a fin de estudiar una serie de eventos contenidos en un periodo temporal. El ritmo, además hace posible la interacción de esquemas cognitivo-motores, ya que supone una invitación al movimiento y a su adaptación temporal.

Existen diversas patologías cuyos síntomas suponen dificultad para responder a estímulos temporales utilizando el aparato locomotor, que pueden atribuirse a problemas motores o combinación de dificultades cognitivas y motoras (Moumdjian et al., 2017), como es el caso del TDAH. La patología es una afección neuroconductual de etiología múltiple que se manifiesta durante la infancia, cuyos síntomas habituales son la inatención, hiperactividad e impulsividad. Es un trastorno cada vez más común, del que se reportan cifras de prevalencia a nivel mundial del 5% al 10% y en nuestro país oscila alrededor del 4% (Rozman & Cardellach, 2016; Saucedo, 2014).

Desde los años 90's se han demostrado anomalías que convergen con el cuadro clínico hasta ahora identificado en el TDAH y, aunque las guías de práctica clínica (GPC) indican que el tratamiento de primera línea es farmacológico con sugerencia de acompañamiento terapéutico para atender la sintomatología cognitivo/atencional, la participación del neurotransmisor dopamina en la patogenia que la ubica en las manifestaciones hiperactivas y de inatención pueden expresarse en dificultades en el control motor, la planeación motora, así también con problemas en habilidades de motricidad fina (Mokobane, Pillay & Meyer, 2019). En los estudios clínicos citados, se sugiere que existe déficits en actividades motoras asociados a la adaptación temporal que han sido abordados mediante evaluaciones de desempeño y sincronización motores (Ben-Pazi et al., 2003; Noreika et al., 2012), que, si bien no son concluyentes los resultados, invitan a seguir indagando sobre la conducta motora del paciente con TDAH.

El presente trabajo se planteó como objetivo evaluar la respuesta motora de pacientes con TDAH a un estímulo rítmico mediante el desarrollo de un software de computadora, al que se le denominó ritmoV. El software presenta una serie de pistas compuestas por secuencias isocrónicas¹ de estímulos auditivos y visuales a los que el participante debe responder con tres diferentes teclas (las fechas del teclado). Con ritmoV, el objetivo es observar y describir la respuesta de los participantes a sus componentes y parámetros a fin de identificar las posibles dificultades a nivel motor para contribuir con la descripción de la patología.

IV. ANTECEDENTES

Desde finales del siglo XVIII se encuentran descripciones del cuadro clínico en problemas neurológicos que se asemeja al del TDAH. En 1798 el médico escocés Alexander Crichton realizó algunas descripciones de pacientes con problemas atencionales que concuerdan, en términos generales, con la clínica actual de esta patología, por ello es considerado como el primer médico en identificar al TDAH. Otro hallazgo que se encuentra en los registros de la historia del TDAH se dió a principios del siglo XX por el Dr. George Still, quien describió niños que aparentemente no tenían impedimentos físicos claros, pero sí una característica a la que nombró: falta de control moral (Barkley, 1998 citado en Rowland, 2002), comportamiento que podría señalar a la actividad motora incesante e incontrolable que se observa en la patología.

Entre 1915-1920, niños que sobrevivieron a encefalitis presentaron problemas de impulsividad, conducta desafiante y actividad motora excesiva, semejantes al TDAH. En algún tiempo las manifestaciones de estos síntomas se catalogaron como efectos del *síndrome de daño cerebral* (Strauss & Lehtinen, 1947) y en 1950 se utilizaba el nombre de *Trastorno Impulsivo Hiperkinético o Síndrome del Niño*

¹ Las secuencias isocrónicas son aquellas que mantienen la misma duración en cada nota (Levitin, Grahn, & London, 2018)

Hiperactivo (Burks, 1960; Chess, 1960). Eventualmente se le nombró al TDAH como *daño cerebral mínimo y Disfunción Cerebral Mínima* (MBD), término que hace referencia a un grado menor de daño cerebral que se compara con, por ejemplo, parálisis cerebral, causado por deficiencias bioquímicas en neurotransmisores del cerebro (Rosa, 2010), y con manifestaciones de hiperactividad e impedimentos motores, así como de atención, percepción, lenguaje y control de impulsos (Kadesjö & Gillberg, 1998; Mahone & Denckla, 2017).

Más adelante, además de las manifestaciones de actividad excesiva (hiperactividad) se comenzaron a describir los problemas de atención y control de impulsos, acentuando la búsqueda de reforzamiento inmediato en el trastorno, lo que contribuyó a la clasificación de la patología en el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM-III). En 1980 se clasifica al conjunto de síntomas como Trastorno por Déficit de Atención (Mathews et al., 2014). Sin embargo, otra perspectiva propuesta por el Dr. Gillberg en 1970 mantuvo un enfoque que observa en conjunto las alteraciones de atención, percepción junto con las motoras, acuñando el término DAMP (Déficits en Atención, control Motor y Percepción). Dicha clasificación sugiere que el TDAH cursa con dificultades motoras similares al Trastorno del Desarrollo de la Coordinación (TDC), sin embargo, el TDC se presenta desde temprana edad como un problema motor en donde se comprometen funciones motoras gruesas y finas cuya especificidad radica en la dificultad para organizar el movimiento dificultado la marcha, habilidades de la vida diaria como comer, vestirse o hacer deportes (ver Gomez & Sirigu, 2015) cuya dificultad principal es el retraso en habilidades motoras y la coordinación del movimiento (Kadejő & Gillberg, 1998).

Si bien estas descripciones anuncian un padecimiento motor que podría considerarse notorio como lo es una dispraxia en el TDC, es cierto que las deficiencias motoras pueden ser también sutiles. Lo anterior principalmente porque en la patología del TDAH, el daño a nivel neurológico se presenta como un desbalance químico de neurotransmisores como la dopamina y en algunos casos la

noradrenalina, por lo tanto, las alteraciones en la motricidad podrían no ser tan perceptibles, aunque la expresión más evidente sería la desregulación característica de la hiperactividad e impulsividad. Tal como lo describe Kandel et al., (2021) “algunas funciones del sistema motor y sus disfunciones son descritas a nivel bioquímico (...) el transmisor juega un rol crítico en la selección de la acción y el reforzamiento del movimiento” (p. 710).

Epidemiología del TDAH

De acuerdo con estadísticas internacionales, el TDAH tiene una prevalencia mundial de entre 5% y 10% en niños en edad escolar (DSM-5, 2014; Rozman & Cardellach, 2016). No obstante, se estima que puede llegar al 20% según los criterios diagnósticos utilizados al momento de la exploración clínica. Las cifras describen que afecta en proporción de 2:1 niños sobre niñas, sin embargo, se ha observado que en las mujeres puede presentarse la forma inatenta por sobre la impulsiva e hiperactiva (Vallejo, 2015). Además, algunos autores asocian a la patología problemas motores con una prevalencia del 30% al 50% (Fliers et al., 2009; Mokobane & Pillay, 2019).

La prevalencia del TDAH en la edad adulta se estima en 2.5% (DSM-5, 2014), lo cual indica que aproximadamente un cuarto de los pacientes cursará la enfermedad hasta la adultez. Se considera que una proporción de los niños con TDAH que llegan a la edad adulta no remiten la enfermedad, sino que sufren modificaciones que podrían sugerir otro tipo de padecimientos superponiendo las comorbilidades en lugar del trastorno base (Lange, 2010; Thapar y Cooper, 2015).

Según de la Peña et al., (2018) en México se han llevado a cabo varias iniciativas para crear consenso nacional acerca del diagnóstico, tratamiento farmacológico y comorbilidades del trastorno (de la Peña & Palacio, 2018), sin embargo, aún no se ha reportado algún estudio epidemiológico que pueda arrojar datos precisos sobre la prevalencia de la enfermedad, aunque, de acuerdo con órganos de atención médica y psiquiátrica del país, se estima que afecta a un millón

y medio de niños y niñas menores de 14 años, esto es el 4% de la población en ese rango de edad, de los cuales, sólo el 30% acuden a servicios de psiquiatría infantil (Sauceda, 2014).

Sin duda el TDAH representa un problema debido al porcentaje de casos y la aparente cronicidad del trastorno en la edad adulta. Además, por la alta relación con dependencia al alcohol, sustancias, episodios hipomaníacos, ansiedad y depresión, sus efectos no se reducen a aspectos académicos o familiares, sino que trascienden a lo social y laboral. En relación con esto último, Fletcher, (2013) reporta que puede presentarse una reducción de ingresos económicos de un tercio, además de disminución del 10 al 14% en las oportunidades para encontrar empleo, en relación con la sintomatología, sobre todo si no se recibió tratamiento y acompañamiento durante la infancia (Sauceda, 2014).

Perspectivas sobre la etiología del TDAH

La causalidad del TDAH se considera multifactorial, en parte por la diversidad de razones en el origen de la patología, pero también por la presencia de elementos genéticos y ambientales involucrados en el desarrollo (Nigg, 2004). Por ello, se dice que es un padecimiento asociado a una interacción entre alteraciones génicas y ambientales, que pueden ser químicas, psicológicas, sociales, familiares o nutricionales, que favorecen la presentación de las alteraciones del trastorno (Mahone & Denckla, 2017; Rosa, 2010; Thapar y Cooper, 2015), aunque de acuerdo con Thapar y Cooper (2015) aún “no se explica un mecanismo biológico mediante el cual la genética y los factores ambientales actúan e interactúan para alterar el desarrollo neural en el trastorno” (p. 1243).

Por un lado, como factores ambientales consideran la influencia familiar y social con tendencia a la violencia, omisiones, maltrato físico, abuso sexual, poca estructura, e incluso numerosidad u orfandad pueden favorecer el desarrollo de la patología (Thapar y Cooper, 2015; Vallejo, 2015). Por otro lado, asocian la interacción durante el embarazo con elementos ambientales como: consumo de

alcohol, tabaco (Mick et al., 2002), exposición a metales como plomo o mercurio (toxemia) (Kliegman et al., 2016), drogas prescritas y sustancias ilícitas (Thapar y Cooper, 2015), además el bajo peso al nacer o la prematurez (Kliegman et al., 2016; Vallejo 2015).

Otro factor importante es la presencia de psicopatologías en los padres, o hermanos y características de personalidad más lábil, con tendencia a la desregulación y búsqueda de estímulos novedosos (DSM-5, 2014; Kliegman et al., 2016) que pueden fungir como reguladores o facilitadores para manifestar la patología. Se indica al sexo masculino como relevante, aunque no determinante para la manifestación del TDAH (Fig. 1).

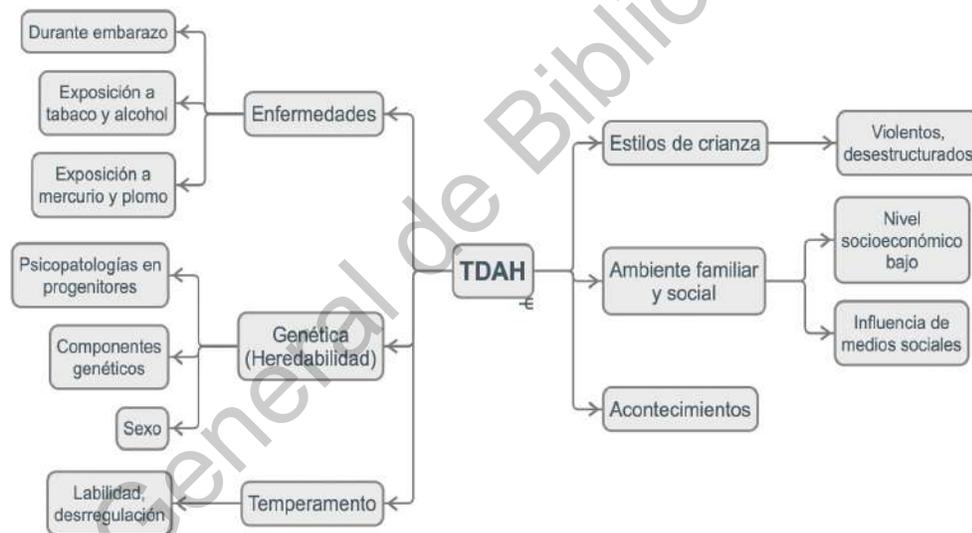


Figura 1. Diagrama de factores genéticos y ambientales asociados a la etiología del TDAH.

Elaborado a partir de DSM-5, 2014; Kliegman et al., 2016; Rozman & Cardellach, 2016; Vallejo, 2015; Portellano, 2014.

En estudios genéticos de polimorfismo de único nucleótido, se han involucrado la disfunción de genes de catecolaminas, especialmente en el gen del receptor D4 y D5 de dopamina (*DRD4*, *DRD5*), el gen del transportador de dopamina (*DAT1*) y polimorfismo en el gen de dopamina β-hidroxilasa, enzima catalizadora de dopamina a noradrenalina, así como la proteína SNAP-25, en inglés, *synaptosomal-associated protein* parte del complejo SNARE que participa en la sinapsis neuronal conectando la vesícula sináptica con la membrana post-sináptica para la liberación

de neurotransmisores (Klein et al., 2017; Liu & Kaeser, 2019; Prince, 2008; Purves et al., 2004).

Además, se relacionan alteraciones en genes del receptor adrenérgico $\alpha 2A$ (*ADRA2A*), de serotonina (*5HTT*, *HTR1B*); receptor colinérgico (*CHRNA7*), receptores de glutamato (*GRM1*, 5, 5 y 8) y reguladores del canal de potasio (*KCNIP1*, 4 y *KCNC1*) (Rozman & Cardellach, 2016; Kliegman, et al., 2016; Thapar & Cooper, 2015).

Consideraciones en la fisiopatología del TDAH

Las alteraciones fisiológicas en el TDAH son igualmente diversas, se encuentran diferentes perspectivas acerca de los mecanismos que explican las variaciones funcionales en el sistema nervioso central (SNC) capaces de producir las manifestaciones clínicas en esta población. De las posturas con mayor impacto y relevancia sobre la fisiopatología del TDAH es la hipótesis hipodopaminérgica, que parte del supuesto de la actividad deprimida del neurotransmisor dopamina (Volkow et al., 2007), evidencia que es sustentada por los mecanismos alterados en la liberación, recaptación, almacenamiento y metabolismo del neurotransmisor.

La dopamina es una catecolamina conocida por su función moduladora en el SNC. El neurotransmisor dopamina es sintetizado principalmente en poblaciones neuronales de dos estructuras del mesencéfalo: 1) las neuronas del área tegmental ventral (ATV), desde donde se originan la vía neuronal mesocortical, cuyas proyecciones van a corteza así como la vía neuronal mesolímbica que proyecta al núcleo accumbens y otras estructuras del sistema límbico, ambas vías neurales se distinguen por su participación en emoción, afecto, atención y motivación y 2) las neuronas de la sustancia nigra pars compacta (SNc) desde donde se origina la vía neural nigroestriatal que proyecta al estriado asociada con el aprendizaje pero principalmente con el control motor mediante circuitos con el tálamo, la corteza, los núcleos de la base (ver Fig. 2) (Kandel et al., 2021; Klein et al., 2018; Liu & Kaeser, 2019).

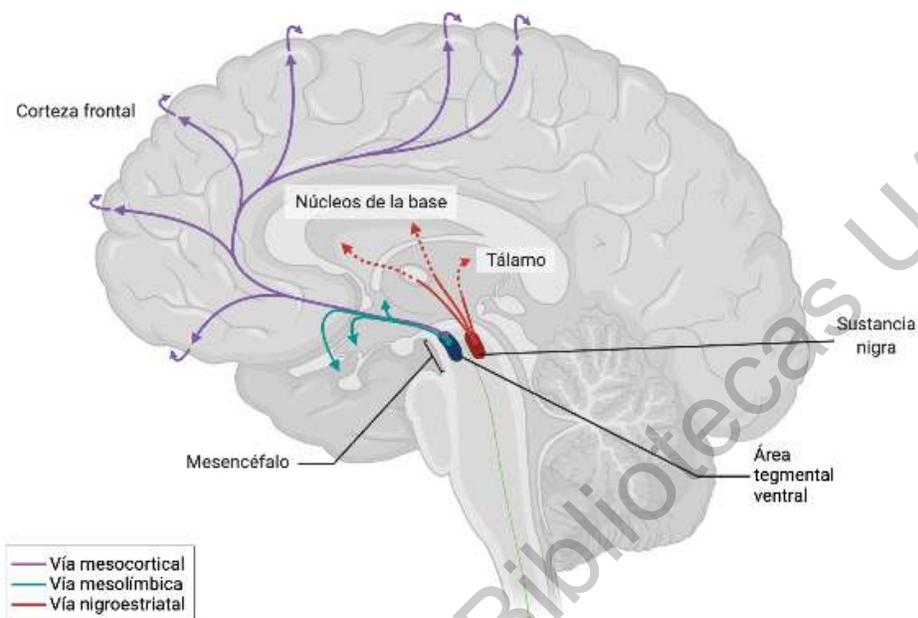


Figura 2. Representación de las principales vías dopaminérgicas

La transmisión dopaminérgica sucede en la sustancia nigra pars compacta (SNc) y el área tegmental ventral (ATV) desde donde proyectan a diversas áreas cerebrales que participan en el control motor, atencional, aprendizaje y recompensa.

La hipoactividad dopaminérgica en esta patología se asocia principalmente a la sobreexpresión del transportador de dopamina (DAT) (ver Fig. 2), cuya tarea es terminar la acción de dopamina por recaptura (Siegel, 2012). El DAT es una proteína dependiente de sodio (NA⁺) y cloro (CL⁻) con sitios de fosforilación que se sitúan en la neurona presináptica desde donde realiza la captura de la biomolécula interactuando con la señal del autorreceptor (Vaughan & Foster, 2013); la consecuencia de los altos niveles de DAT en neuronas es el incremento en la sustracción de dopamina.

Además, Squire et al., (2008) sugiere alteraciones en el autorreceptor de dopamina D2 presente en terminales sinápticos, que al activarse inhiben la liberación del neurotransmisor, provocando disminución en su actividad. Igualmente, Kliegman et al., (2016) reporta daños en el almacenamiento en vesículas que transportan a los neurotransmisores, lo que provoca falla en la

liberación sináptica en respuesta a la despolarización de membranas, afectado por la reducción en la expresión de calcio (Ca^{2+} , calmodulina proteína quinasa II) (ver Fig. 3). También, Gozal y Molfese (2005) sugieren que las alteraciones dopaminérgicas en población pediátrica son producto del incremento en la acumulación del precursor de dopamina, dihidroxifenilalanina (DOPA) en neuronas del mesencéfalo.

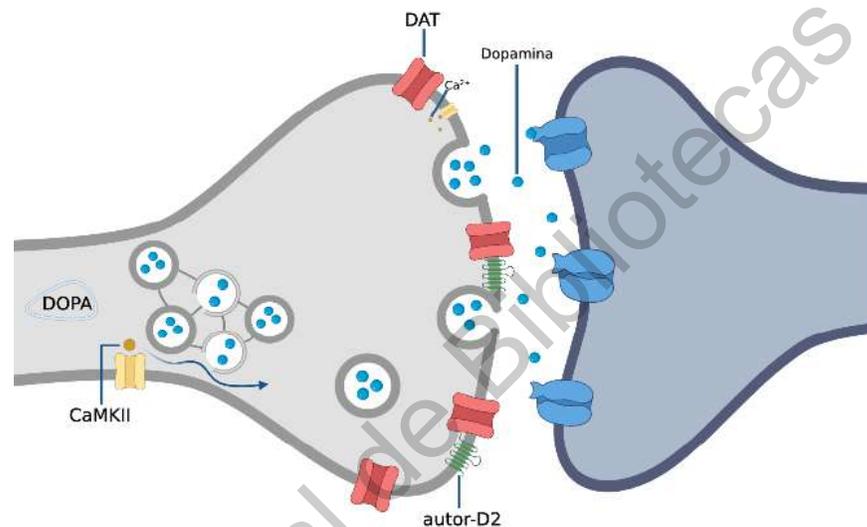


Figura 3. Representación de las alteraciones en neuronas dopaminérgicas en TDAH

Neurona presináptica (izq.) con presencia de sobreexpresión del transportador (en rojo), el autorreceptor D2 (en verde), el precursor de dopamina (DOPA) y canales de calcio (en amarillo) relacionados

En síntesis, en el TDAH los mecanismos de liberación, recaptación, almacenamiento y metabolismo dopaminérgico alterados impiden que la dopamina realice su función completa, disminuyendo el efecto fisiológico del neurotransmisor en las principales estructuras cerebrales y circuitos de transmisión neuronal dopaminérgica (Gozal y Molfese, 2005) que involucran diferentes áreas cerebrales como la corteza, el cerebelo, los núcleos de la base, entre otros. Lo anterior es relevante para las manifestaciones clínicas del TDAH debido a que la transmisión dopaminérgica, que se realiza por medio de las vías neuronales principales se involucra en diferentes procesos como el control motor, atencional, de organización

e integración de la información, así como de reforzamiento de conductas (Hart et al., 2013; Nigg et al., 2005; Sagvolden et al., 2005).

Cuadro clínico del TDAH

De acuerdo con los criterios diagnósticos descritos, el cuadro clínico del TDAH está caracterizado por la presencia de inatención, impulsividad e hiperactividad (DSM-5, 2014; CIE 11, 2019). En el paciente con TDAH la inatención se exhibe en la dificultad para concentrarse, enfocarse a una tarea, seleccionar un estímulo relevante y distraerse fácilmente ante estímulos irrelevantes. La impulsividad como la incapacidad para inhibir los impulsos y la hiperactividad como la actividad motora excesiva. En los párrafos siguientes se describen cada una de las manifestaciones clínicas mencionadas.

Desde la perspectiva de las ciencias cognitivas, se entiende que la atención es un mecanismo de acceso a la cognición que ha sido clasificada según sus componentes y representada en modelos como: un filtro de la información (Broadbent, 1958) a fin de conservar lo necesario y desechar lo irrelevante, un componente que selecciona, organiza, analiza y monitorea (Portellano y García, 2014); una función de orientación (Posner, 1980); foco (Eriksen et al., 1986; Tsal, 1983) o un proceso de selección (LaBerge et al., 1989), por mencionar algunos.

De los modelos anteriores, el modelo atencional de Posner (2012), es uno de los que presenta mayor evidencia conductal y neurofuncional. El modelo considera a la atención en términos generales como un proceso en el que participan determinadas áreas cerebrales y en específico como un conjunto de redes neurales que se encargan de atender, mantener y monitorear los procesos atencionales. Posner (2012) distingue tres redes funcionales de atención que interactúan entre ellas: (1) la orientación, que se encarga de la selección y localización de la información del *input* sensorial en el espacio, de dirigirse hacia un estímulo y generar conciencia de la percepción del estímulo; esta red se vincula a estructuras cerebrales como: colículo superior, unión parieto-temporal, corteza parietal superior

y campos visuales frontales; (2) alerta, encargada de disponer un estado de preparación para la información que pueda venir; se relaciona con el locus coeruleus, la corteza frontal y la corteza parietal derecha; (3) control ejecutivo, responsable de supervisar y solucionar conflictos asociados a la planeación, toma de decisiones y detección de errores para alcanzar objetivos; se relaciona con los núcleos de la base, el cíngulo anterior y corteza prefrontal lateral ventral (Fan et al., 2005). De acuerdo con cada red, un neurotransmisor es el encargado de modular, en ese orden, acetilcolina, noradrenalina y dopamina (Fabio & Urso, 2014) (Fig. 4).

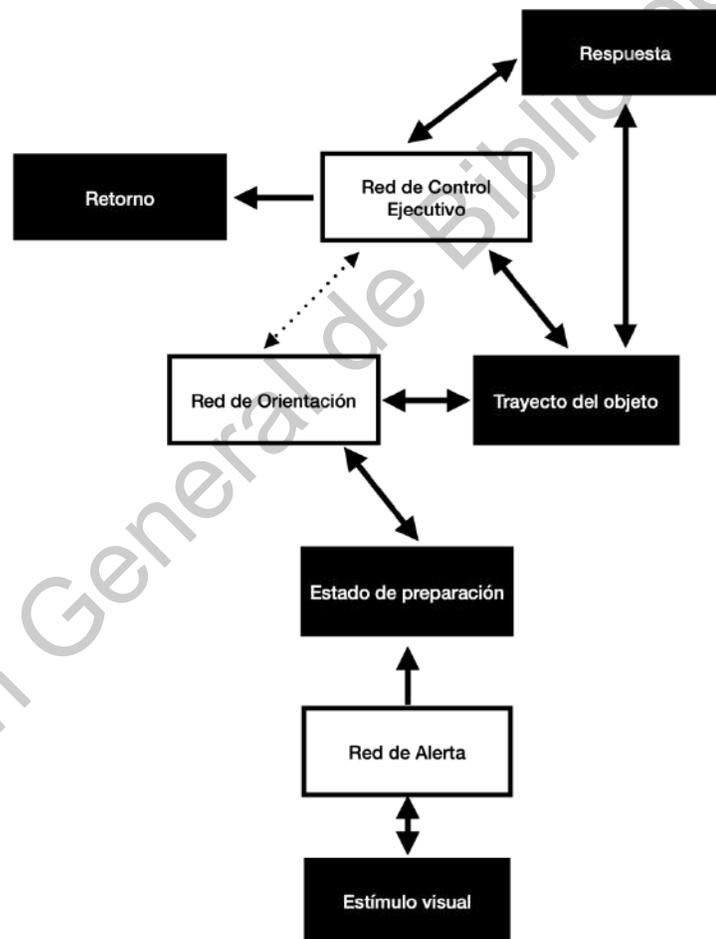


Figura 4. Esquema del modelo de atención de Posner adaptado de Wang & Fang (2017). Ilustra la interacción de la red de alerta, de orientación y de control ejecutivo ante el estímulo externo. La red de control ejecutivo (parte superior) es la que se compromete en el TDAH, generando dificultades en el monitoreo e integración de tareas

Dentro de su modelo de atención (Posner, 2012) utilizan una prueba para evaluar los componentes descritos: *Attention Network Test* (ANT). En la ANT presentan claves y objetivos con los que el participante debe interactuar dependiendo de la red atencional, esto con la finalidad de describir las redes de alerta, orientación y control ejecutivo. La versión para niños incluye un estímulo para fijar la vista (una cruz) al centro, los *targets* son peces que deben alimentar mediante los botones del *mouse* hacia la misma dirección que se presenta. El objetivo puede presentarse separado o junto a distractores (peces con la misma o diferente orientación) (Rueda et al., 2004). La tarea se enfoca en examinar el efecto que se manifiesten al interactuar con los elementos en un determinado tiempo de reacción, evaluando cada una de las redes por separado y en conjunto. De acuerdo con investigaciones, los pacientes con TDAH manifiestan dificultades de forma específica en la red de control ejecutivo (Fabio & Urso, 2014) la cuál incluye a la integración del control motor (Mokobane, Pillay & Meyer, 2019).

El síntoma de hiperactividad es típicamente observado como sobreactividad motora. Por un lado, se le considera como una reacción a la dificultad para sostener la atención en actividades y la incapacidad para controlar el impulso inhibiendo la contención y exteriorizando la actividad motora excesiva (Vallejo, 2015). Por otro lado, se existe una hipótesis que relaciona a la hiperactividad con la deficiencia de dopamina en los circuitos dopaminérgicos (Ben-Pazi et al., 2003), ya que esta se encarga de la modulación del movimiento, provocando en el paciente con TDAH los comportamientos inquietos y la dificultad para coordinar la motricidad fina y gruesa.

El trastorno también se vincula con una desregulación característica de la impulsividad (Nigg, 2004) que se observa por la falta de autocontrol, dificultad para aplazar la gratificación, reacciones exageradas ante la frustración, conductas que ponen en riesgo físico e imprudencia social como interrupciones a las actividades de otros, espera de turnos, dificultad en la planificación de estrategias y resolución provocando que se comporte el niño con poca inhibición (DSM-5, 2014). La respuesta anticipada que se reporta en pacientes con TDAH, a partir de tareas que

miden la adaptación temporal motora y en investigaciones que relacionan el sistema motor y de recompensa a la patología (Ben-Pazi et al., 2003; Noreika et al., 2012; Tiffin-Richards et al., 2004; Valera et al., 2010), sugieren que la impulsividad subyace al problema de control motor.

La sintomatología del paciente con TDAH vincula con la fisiopatología a las alteraciones en red la ejecutiva de la atención (Fabio & Urso, 2014), que participa en la supervisión y planeación, a las fallas en circuitos neurales que controlan el movimiento (Ben-Pazi, 2003) y a la dificultad para inhibir una respuesta (Nigg & Casey, 2005; Valera et al., 2010). Además, cada uno de los componentes previamente mencionados se relacionan con impedimentos motores sutiles, que pueden ser evaluados con tareas de *timing*, que aunque los resultados no son concluyentes, reportan dificultades de sincronización motora que se describen en el apartado de *timing* y SET, debido a la participación del control ejecutivo en la integración y monitoreo en las tareas, el control motor como inhibidor y activador de funciones musculares durante la ejecución del movimiento y la regulación de la conducta (Fliers et al., 2009; Kadesjö & Gillberg, 1998; Mahone & Denckla, 2017; Mokobane & Pillay, 2019) (Fig. 5).

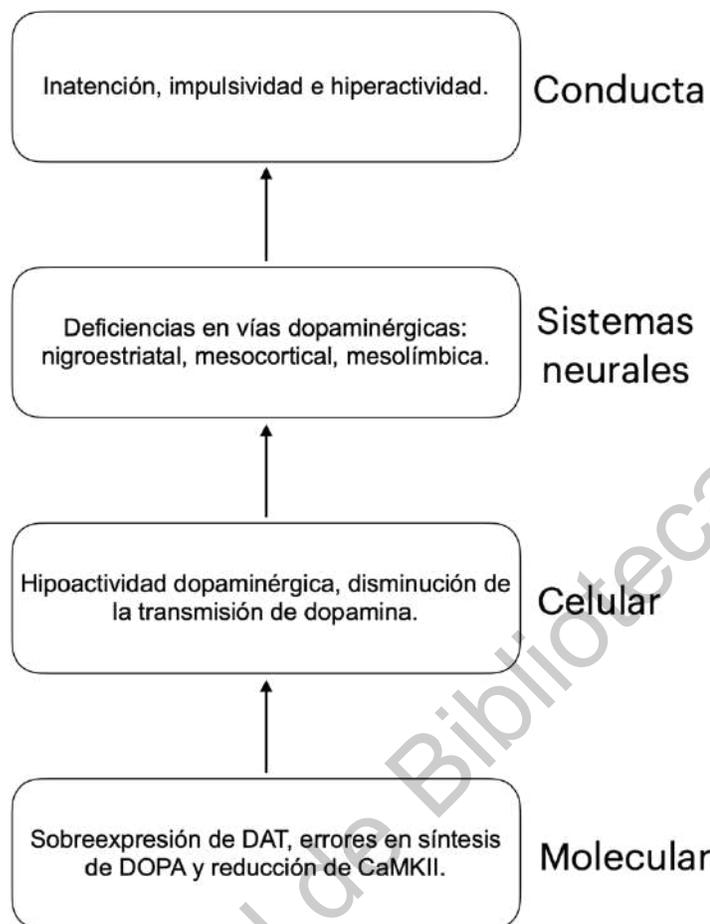


Figura 5. Esquema de las dimensiones involucradas en las características del TDAH.

De acuerdo con los hallazgos recientes en la patología, el TDAH cursa con alteraciones a través de múltiples dimensiones del SNC. Elaborado a partir de Tichko et al., 2020.

Clasificación diagnóstica y tratamiento del TDAH

A pesar de la evidencia creciente en variaciones génicas y fisiopatológicas del trastorno, el abordaje para diagnosticarlo continúa siendo clínico, utilizando herramientas como la clínica médica y observación educativa. El uso de escalas como el cuestionario Conners para padres y maestros, así como pruebas neuropsicológicas, que permiten evaluar la atención, percepción y problemas de aprendizaje (Gordon, 2011) tanto como cuestiones conductuales, apuntando a la observación del contexto familiar o estilo de crianza, es lo que prevalece.

Las principales fuentes para establecer la impresión diagnóstica son el DSM-5, (2014), elaborado por la Asociación Americana de Psiquiatría, usado en casi todos los países para estandarizar un diagnóstico en cualquier población y la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-11, 2019 por su versión más reciente).

El DSM-5 (2014) clasifica el TDAH en la categoría diagnóstica de trastornos del neurodesarrollo debido a su aparición temprana, en la edad escolar primaria. Describe al trastorno como un patrón persistente de inatención y/o hiperactividad-impulsividad que interfiere con el funcionamiento o el desarrollo. Para establecer la presencia de la patología se considera que seis síntomas de la lista de criterios diagnósticos deben estar o permanecer presentes por seis o más meses evidenciando un grado fuera de la edad y que afecta las actividades sociales y académicas o laborales. El DSM-5 divide al trastorno en tres subgrupos: la presentación combinada, la presentación predominante con falta de atención y la presentación predominante hiperactiva/impulsiva. Además, el manual estipula que debe establecerse la gravedad actual del trastorno, sea leve, moderado o grave, de acuerdo con el deterioro en el funcionamiento (DSM-5, 2014).

Tabla 1. Tabla adaptada del Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales 5ª edición, 2014. Criterios diagnósticos para identificar el cuadro clínico en el DSM-5

Criterio	Síntomas
Inatención	<ul style="list-style-type: none"> a) Con frecuencia falla en prestar atención a detalles o se cometen errores en las tareas escolares, o durante otras actividades. b) Con frecuencia tiene dificultades para mantener la atención en tareas o actividades recreativas. c) Con frecuencia parece no escuchar cuando se le habla directamente. d) Con frecuencia no sigue las instrucciones y no termina las tareas escolares, los quehaceres o los deberes laborales. e) Con frecuencia tiene dificultad para organizar tareas y actividades. f) Con frecuencia evita, le disgusta o se muestra poco entusiasta en iniciar tareas que requieren un esfuerzo mental sostenido. g) Con frecuencia pierde cosas necesarias para tareas o actividades. h) Con frecuencia se distrae con facilidad por estímulos externos. i) Con frecuencia olvida las actividades cotidianas.
Hiperactividad e Impulsividad	<ul style="list-style-type: none"> a) Con frecuencia juguetea con o golpea las manos o los pies o se retuerce en el asiento. b) Con frecuencia se levanta en situaciones en que se espera que permanezca sentado. c) Con frecuencia corretea o trepa en situaciones en las que no resulta apropiado. d) Con frecuencia es incapaz de jugar o de ocuparse tranquilamente en actividades recreativas. e) Con frecuencia está "ocupado", actuando como si "lo impulsara un motor". f) Con frecuencia habla excesivamente. g) Con frecuencia responde inesperadamente o antes de que se haya concluido una pregunta. h) Con frecuencia le es difícil esperar su turno. i) Con frecuencia interrumpe o se inmiscuye con otros.
	<ul style="list-style-type: none"> a) Algunos síntomas estaban presentes antes de los 12 años. b) Varios síntomas están presentes en dos o más contextos. c) Existen pruebas claras de que los síntomas interfieren con el funcionamiento social, académico (...) o reducen la calidad de los mismos. d) Los síntomas no se manifiestan durante el curso de algún trastorno psicótico y no se explican mejor con otro trastorno mental.
Subtipos	<ul style="list-style-type: none"> a) Presentación combinada: cumple con el criterio de inatención y el criterio de hiperactividad-impulsividad. b) Presentación predominantemente con falta de atención: cumple el criterio de inatención, pero no se cumple el criterio de hiperactividad/impulsividad. c) Presentación predominante hiperactiva/impulsiva: si se cumple con el criterio de hiperactividad-impulsividad y no se cumple el criterio de inatención.

La CIE-11 (2019) coloca al TDAH en la clasificación de trastornos mentales, del comportamiento y del neurodesarrollo, específicamente dentro del rubro trastornos del neurodesarrollo, y lo describe como un patrón persistente de falta de atención o hiperactividad e impulsividad que comienza en la infancia y que dura al menos 6 meses. Dicha sintomatología tiene que estar fuera de las características esperadas para la edad, al igual que interferir con las funciones académicas o sociales. Las manifestaciones son variables y cambiantes conforme avanza el padecimiento. El diagnóstico debe establecerse solo si se observa el cuadro clínico en más de un contexto.

La CIE-11 incluye los subtipos predominantemente con falta de atención (6A05.0); la presentación mayormente hiperactiva e impulsiva (6A05.1); y la combinada (6A05.2) en este se cumplen todos los requisitos que establece la clasificación.

Tabla 2. Tabla adaptada de Clasificación Internacional de Enfermedades para las Estadísticas de Mortalidad y Morbilidad (2019). Criterios diagnósticos para identificar el cuadro clínico en la CIE-11.

Criterio	Síntoma
Inatención	a) Dificultad importante en el mantenimiento de la atención en tareas que no proporcionan un alto nivel de estimulación o recompensas frecuentes. Distracción y problemas de organización.
Hiperactividad	b) Exceso de actividad motora y dificultades para quedarse inmóvil, más evidente en situaciones estructuradas que requieren de un comportamiento de autocontrol.
Impulsividad	c) Tendencia a actuar en respuesta a los estímulos inmediatos, sin reflexión o consideración de los riesgos y consecuencias.

Aspectos del uso del electroencefalograma

El electroencefalograma (EEG) se utiliza en el TDAH como herramienta para descartar la causalidad de síntomas como la inatención, impulsividad, originados por algún otro trastorno como pudiera ser la epilepsia, trastorno del sueño, entre otros (Waxman, 2010). Dentro del diagnóstico de la patología se utiliza el EEG en

su modalidad cualitativa y cuantitativa en donde se han encontrado patrones particulares de ondas cerebrales beta y theta. En un estudio realizado en 1999 (Monastra et al., citados en Ortiz-Pérez y Moreno-García, 2015) y 2001 (Monastra, Lubar y Linden, citados en Ortiz-Pérez y Moreno-García, 2015) mostraron diferenciación de actividad theta (4-8Hz) entre beta (13-21Hz), considerando que la onda theta está alterada por manifestar excesiva actividad y la banda beta por falta de actividad (Ortiz-Pérez y Moreno-García, 2015).

En el estudio realizado por Ortiz-Pérez y Moreno-García, 2015, encontraron valores theta, que se relaciona con actividades de creatividad, espontaneidad y distracción, puntuaciones altas para aquellos niños con posible TDAH y la banda beta, relacionada más con atención sostenida y pensamiento, este mismo grupo tuvo menores valores. En EEG cuantitativo, en la mayoría de los estudios muestra altos niveles de ondas lentas sobre todo en la banda theta. Reducciones en alpha y beta e incremento en actividad delta. Las variabilidades son más notorias en TDAH combinado (Barry et al., 2003). De acuerdo con el estudio de Delgado-Mejía et al., 2014, con una muestra distribuida por el subtipo inatento y combinado, se encontraron altos ratios de theta/beta-1 y Theta/beta-2. Aunque hubo diferencias en la actividad de áreas cerebrales, las diferencias significativas se encontraron principalmente en las regiones occipitales.

Tratamiento farmacológico

La base del tratamiento para el TDAH es la terapia farmacológica y se recomienda combinarla con terapia psicológica. Los medicamentos más comúnmente utilizados son derivados de las anfetaminas, principalmente el Metilfenidato (MFD) y la Atomoxetina (ATX) (que se encuentra en el grupo de los antidepresivos), Sales de Anfetamina Mixtas (MAS) y Dextroanfetamina (DEX) (Kowalczyk et al., 2019; Martínez et al., 2020; Zimmer, L., 2017).

El MFD es un fármaco psicoestimulante que inhibe la recaptura de dopamina y noradrenalina, se une al transportador protéico DAT y bloquea la recaudación del

neurotransmisor dopamina (Yañez, 2016) por lo que incrementa la posibilidad de que la dopamina ejerza su efecto favoreciendo las conexiones sinápticas en las que participa (Kowalczyk et al., 2019; Zimmer, L., 2017). Los estimulantes apoyan en la disminución de hiperactividad, reacciones impulsivas y ayudan a aumentar la concentración, atención y la memoria inmediata.

Por su parte la ATX es un fármaco no psicoestimulante que actúa como inhibidor selectivo de transportadores para noradrenalina (Yañez, 2016) incrementando la transmisión de este. ATX actúa en la membrana presináptica al bloquear su re-ingreso, dejando disponible la noradrenalina intrasináptica, esto genera aumento de niveles de noradrenalina y dopamina en diferentes áreas del cerebro involucradas en la atención (Garnock-Jones, Y Keating, 2009; Kowalczyk et al., 2019). La ATX puede regular la presencia de dopamina en lóbulos frontales al bloquear la proteína de recaptación presináptica noragrenérgica, aumentando los niveles de dopamina (Stern et al., 2018). Se utiliza principalmente cuando el TDAH coexiste con ansiedad, cambios de estado de ánimo y tics. La tasa de respuesta bajo los dos fármacos anteriores es del 70% aproximadamente, y del 10-30% de los pacientes no responden a ellos (Kratochvil et al., 2003).

Con relación a la terapia psicológica, lo que más recomiendan las guías de práctica clínica es el enfoque cognitivo-conductual, que trabaja con los esquemas de pensamiento y conducta, utilizando el desglose de problemas complejos en más simples para abordarlos. Se basa en tareas y metas alcanzables, reforzamiento positivo y negativo, moldeamiento y modelamiento de la conducta y puede utilizar estrategias como la economía de fichas (Castillo et al., 2012). La terapia muestra mejoras en el funcionamiento de actividades de la vida diaria, y sobre algunos de los síntomas de la patología (Anstshel et al., 2014).

De acuerdo con lo que se ha descrito acerca de las características de la patología en donde se mencionó la participación de dopamina en los circuitos neuronales involucrados en el control motor, atencional y conducta impulsiva, la

relevancia de estudiar los aspectos motores en la patología a fin de abordarla con un enfoque en la motricidad, es posible a partir de los modelos de *timing* que pueden auxiliar a describir las dificultades en sincronización motora ante secuencias rítmicas sonoras y visuales que son susceptibles de estudiarse a partir de las manifestaciones del movimiento.

***Timing* y Teoría de *Timing* Escalar (SET)**

Uno de los temas de interés para las ciencias cognitivas es el estudio de la percepción del tiempo, la descripción de sus componentes data de los años 1960's en donde es posible observar la presentación de dos vertientes: 1) psicológica y 2) psicofísica (Allan, 1979). La primera mantiene un análisis en perspectiva del tiempo y sus vínculos con los procesos de cognición y plantea una serie de métodos para su estudio: estimación verbal, producción, comparación, reproducción y sincronización (Allan, 1979); mientras que la segunda, mantiene una perspectiva más acotada de la percepción del tiempo en el sentido de su medición. El eje central es la tesis de un reloj interno (Macar, Pouthas & Friedman, 1992) y los procesos metodológicos están asociados a la medición de los eventos temporales. En el apartado de la teoría de la SET se presenta una descripción de la tesis del reloj interno a partir de la teoría de *timing* escalar.

Entre los años 1970 y 1980, la corriente psicológica y psicofísica parecían alejarse una de la otra, sin embargo, sus estudios aportaron diferentes enfoques sobre la percepción de los fenómenos temporales. Los modelos psicofísicos tuvieron gran auge con representaciones como la ley de Weber y propuestas que (1) profundizan el enfoque cuántico del tiempo (ver Allan & Kristofferson, 1979), (2) pretenden probar el mecanismo del reloj interno a partir de la SET (Gibbon, Church & Meck, 1984) y (3) analizan el movimiento (*timing* motor) ante un intervalo de tiempo con organización secuencial (Wing & Kristofferson, 1973).

En el congreso de *timing* y *percepción del tiempo*, que se llevó a cabo en 1983, en Nueva York (Gibbon & Allan, 1984), se establece la importancia del mecanismo

del reloj interno, que es mayormente desarrollado y probado por la SET, y la participación de la ley de Weber², como principal predictor para la percepción del estímulo temporal. Sin embargo, Fraisse un año más tarde publica un artículo de revisión en donde para explicar la percepción del tiempo establece la diferencia entre (1) la duración: “que se aplica al intervalo entre dos eventos sucesivos, no tiene existencia en sí misma, pero es una característica intrínseca de la percepción de los eventos” (Fraisse, 1984, p. 2), a su vez la subdivide en dos elementos: estimación y percepción, la primera “tiene lugar cuando la memoria es usada para asociar un momento con otro (*ídem*, p. 9)” y la segunda, se refiere a la “habilidad para asimilar eventos sucesivos como más o menos simultáneos (*ídem*, p. 9)” ejemplo en una clase inicial de música se muestra un patrón rítmico percutido y se le pide al niño que reproduzca el ritmo, lo que se observa es que el niño reproduce el patrón completo por lo que se entiende a la suma de los eventos como un grupo unificado y (2) la sucesión del estímulo temporal: “corresponde al hecho de que dos o más eventos pueden percibirse como diferentes pero organizados secuencialmente” (*ídem*, p. 2)” por ejemplo, en la misma clase inicial de música, se puede presentar una pista que contenga un patrón rítmico sencillo (como Las gotitas pican de Judith Akoschky) se le pide al niño que siga el ritmo al mismo tiempo que se escucha la base (ver Fig. 6). Esto permite mostrar que la sucesión necesariamente requiere de la adaptación simultánea del sujeto al estímulo externo.



Figura 6. Esquema de sucesión y duración de los eventos temporales (Fraisse, 1984).

La percepción del tiempo se compone por dos elementos, la duración y la sucesión, que, aunque complementarios, sus características particulares permiten un análisis por separado.

² La Ley de Weber se refiere a la relación cuantitativa entre la magnitud de un estímulo físico y cómo es percibido, explicando, a partir de la escala logarítmica, que “la variabilidad de la estimación del tiempo incrementa en forma lineal con la duración del intervalo a ser cronometrado” (Droit-Volet, 2013; Merchant & de Lafuente, 2014, p. 20).

La distinción anterior entre sucesión y percepción de la duración es muy relevante (Block & Grondin, 2014), ya que permite dividir naturalmente los dos componentes que, aunque complementarios, pueden analizarse por separado, por lo que abre la posibilidad de hacer estudios que ponga a prueba las dos variantes, y no solo la percepción de la duración, como se venía haciendo en la SET, ejemplo de ello, es el modelo de *timing* motor como el de Wing y Kristoffersen (1973) enfocado en la respuesta motora ante secuencias de intervalos de tiempo (similar a lo que explica con el ejemplo de la sucesión), que sirvió de referencia para las tareas que se proponen en este proyecto.

De las perspectivas psicofísicas antes mencionadas, dos variantes son de importancia para el proyecto: la SET y el *timing*. Comenzando por la descripción de la SET, esta se desarrolla a partir del estudio con programas de reforzamiento en modelos animales como el perro, primates no humanos, entre otros, en los cuales presentaban en diferentes intervalos, estímulos visuales o auditivos y miden la conducta asociada al lapso en el que se demoraba una recompensa (Church, 2003; Gibbon, Church & Meck, 1984). Sus respectivas adaptaciones en humanos son elaboradas por Wearden (1991), quien retoma la propuesta de la SET sobre el concepto del reloj interno, la participación de mecanismos de memoria(s) en los procesos de percepción de la duración, el involucramiento de procesos de decisión, es decir, esquemas internos de interpretación y selección de la conducta de respuesta adecuada, y la conducta observable, aquella que emite el sujeto como respuesta al estímulo temporal, resultado de procesos internos (Macar, Pouthas & Friedman, 1992; Wearden, 2004).

La SET propone un sistema de operación a tres niveles, cuyo funcionamiento es generalmente en secuencia (Fig. 7). El superior es el del reloj, conformado por: un reloj tipo marcapasos que genera pulsos y un acumulador que almacena y contiene los pulsos necesarios sobre la duración del estímulo (Wearden, 2004); la comunicación entre ambos (el reloj y el acumulador) se da por medio de un *switch* que se cierra o se abre para permitir el intercambio de la información (Macar,

Pouthas & Friedman, 1992). En el segundo nivel se encuentran las memorias (de trabajo o corto plazo y de referencia o largo plazo); el acumulador transfiere la representación de la duración del estímulo interactuando directo con la memoria de corto plazo o de trabajo para almacenar el tiempo. Los esquemas de duración a este nivel pueden sufrir modificaciones y conservarse con cierto grado de variación. Además de la memoria de trabajo, en este segundo componente también se representa a la memoria de largo plazo o de referencia, esta contiene los tiempos o arreglos temporales importantes, previamente integrados y guardados (Wearden, 2004). El tercer nivel corresponde a los procesos de decisión, en ellos se realiza la comparación entre un estímulo en la memoria de referencia y el contenido en la memoria de trabajo, de acuerdo con la tarea es el proceso de comparación que, para finalizar el esquema, se expresa en una respuesta conductual (Wearden, 2004). Como previamente se mencionó, la SET pretende explicar la percepción de la duración, mediante utilización de la ley de Weber y diseño de tareas que evalúan la capacidad de identificación y producción de un intervalo de tiempo a la vez (Wearden, 2016).

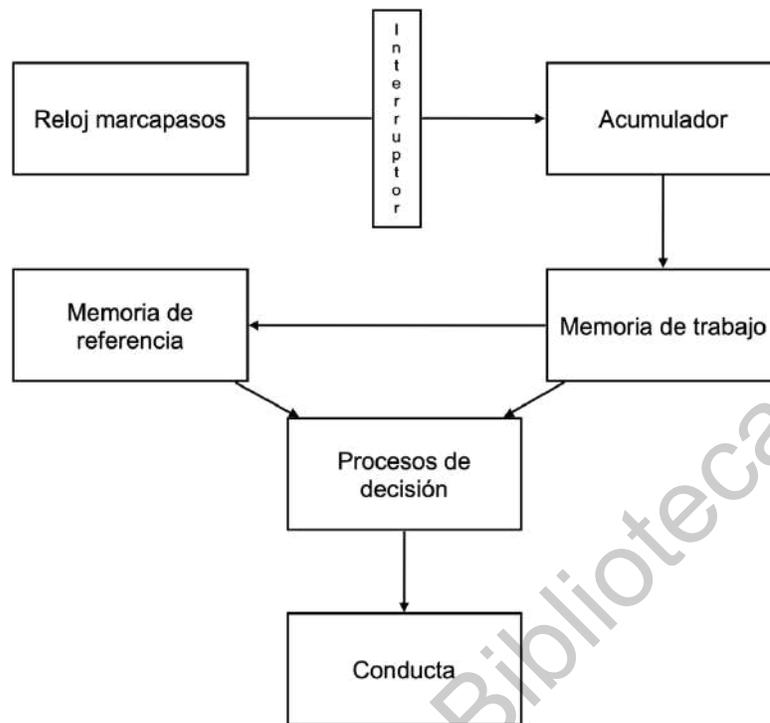


Figura 7. Esquema de operación propuesta por la SET.

La SET especifica que la percepción del tiempo se lleva a cabo por la interacción entre los tres diferentes niveles a fin de manifestar una respuesta. Modificado de Wearden, (2016).

Las tareas mayormente asociadas a la SET son las de (a) bisección temporal y (b) generalización temporal, la primera desarrollada para humanos por Bovet (1968) y la segunda por Wearden (1992). Ambas tareas utilizan un periodo para entrenar al participante en identificar el *estímulo o estímulos estándar* (ejem. uno corto y uno largo) y posteriormente se presentan los eventos que denominan *estímulos de comparación*. En el diseño de bisección temporal se presentan puntos intermedios entre la duración del estándar corto y largo y le corresponde al sujeto identificar si estos intervalos se acercan a uno u otro (Wearden, 2016); mientras que, en el esquema de generalización temporal, la duración de un solo estímulo estándar es comparada con una serie de tonos distintos o similares al ejemplo y el participante debe decidir si los eventos son o no el mismo que el estándar (Wearden, 2016).

El diseño de evaluación para la percepción del tiempo propuesto por la SET no resulta útil en su totalidad para aquellas tareas que demandan una respuesta conductual como parte del proceso de decisión, en donde es necesario interpretar la sucesión temporal (Fraisse, 1984). Por ello, es preciso considerar propuestas como la de Wing y Kristoffersen (1974) que contempla un análisis de la respuesta ante un estímulo temporal continuo, es decir, *timing motor*. Al *timing* se le define como: la habilidad para adaptar la conducta a un estímulo temporal (Noreika et al., 2012) y asume la integración del tiempo y la ejecución de una respuesta en habilidades como atrapar una pelota pues, requiere considerar la velocidad a la que se acerca para calcular el tiempo en el que se debe atrapar, es decir percepción del tiempo (Merchant & de Lafuente, 2014), además, de las que requieren habilidades motoras precisas como interpretar una pieza musical en un instrumento, es decir, *timing motor* (Schubotz et al., 2000).

Siguiendo con el modelo de Wing y Kristoffersen (1974) denominado “modelo de dos procesos para la respuesta de *timing*” sostiene que la expresión de la conducta motora no es una función de la duración, sino que depende de la sucesión del intervalo entre los estímulos que se presentan y lo explican de la siguiente manera: el inicio de las respuestas periódicas surge de la fuente del sonido temporal o cronometrador (marcapasos, metrónomo, instrumento musical) y de la variación temporal en la ejecución de la respuesta a su vez detonada por el cronometrador. El intervalo entre los pulsos del cronometrador inicia la respuesta motora, pero a esta se le asocia un atraso en la aferencia, es decir, entre la iniciación del movimiento y la externalización de la respuesta (Wing, 1980). Por lo anterior, el análisis de la ejecución se basa en la comparación del estímulo con la respuesta del sujeto, en función de la desviación o variación entre el inicio del estímulo y la ejecución del movimiento, en otras palabras, la sincronización.

Aunado a lo anterior, plantea un proceso de corrección en donde el sujeto ajusta su ejecución basándose en la respuesta anterior y la memoria del intervalo estándar, comportamiento que puede observarse con las modificaciones

temporales al patrón de respuestas. Además, el modelo establece que, si es un estímulo de intervalo continuo, como en el caso de los patrones rítmicos en ritmoV, entonces, la variabilidad de las respuestas por sobre el estímulo se deben exclusivamente a la conducta motora (Wing, 1980), (Fig. 8).

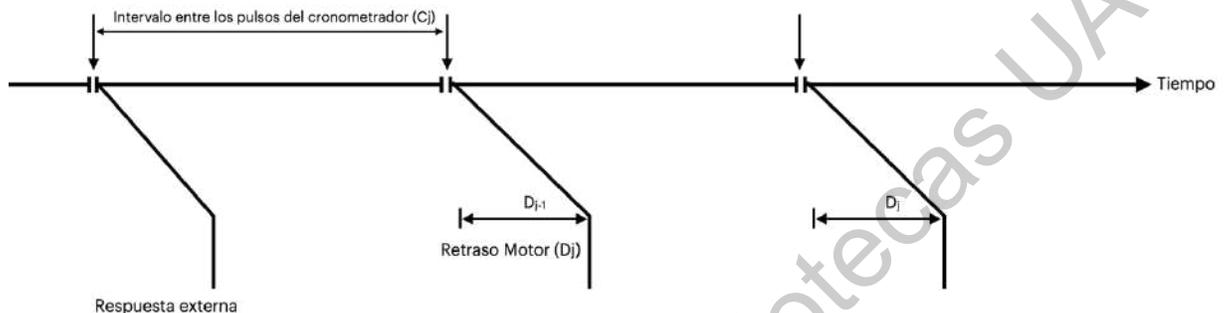


Figura 8. Esquema del modelo de dos procesos de la respuesta de timing de Wing (1980).

En este modelo, el cronómetro emite estímulos sonoros a un intervalo fijo (C_j), lo que produce una respuesta motora en el evaluado que considera un retraso (D_j). Modificado de Wing, (1980)

De acuerdo con clasificaciones recientes, como la realizada en el trabajo de Noreika et al., 2012, el *timing* es dividido en tres rubros: 1) *timing* perceptual, que es la capacidad para estimar la duración del tiempo 2) *timing* previsor, que es la habilidad para anticipar las consecuencias de una acción en intervalos extensos de tiempo y, como lo vimos anteriormente, se incluye al 3) *timing* motor, que es el ajuste de la conducta motora a un estímulo externo/interno visual o auditivo. El esquema de tarea para este último presenta una serie de estímulos visuales y auditivos que pueden tener una duración constante o duraciones variadas, además del intervalo entre estímulo, que puede ser igualmente regular o variado al que requiere sincronizarse a través del movimiento. El participante generalmente interactúa con la secuencia a partir de una tecla en computadora o teclado musical y las respuestas pueden ser registradas como eventos en software o en canal de audio (Ben-Pazi et al., 2003; Tiffin-Richards, 2004).

En el *timing* motor se puede manifestar una respuesta (de movimiento) sincronizada ante la interpretación de la sucesión temporal que permite, por un lado, analizar la respuesta motora del individuo sobre intervalos de tiempo en

escalas de segundos a milisegundos o por ritmos y pulsos en unidades de frecuencia (Hz) (Ben-Pazi et al., 2003; Durston et al., 2010; Large, Herrera & Velasco, 2015; Large & Snyder, 2009; Levitin, Grahn, & London, 2018; Merchant & de Lafuente, 2014; Noreika et al., 2012; Repp, 2015; Thaut, 2015), y por otro lado, integrar la estructura temporal de la música, es decir, el ritmo (Large & Snyder 2009; McAuley, 2010). Debido a que el ritmo establece patrones de sonidos, así como de silencios, que representan la sucesión temporal de la secuencia, se puede habilitar para su interacción en un rango de 100 ms a 5-6s (Fig. 9) (Levitin, Grahn, & London, 2018). Lezama-Espinosa & Hernández-Montiel (2020) citan las características que el Dr. Patel (2009) describe necesarias en el estímulo rítmico para que ocurra la sincronización:

“(1) Habilidad para combinar el estímulo que es más complejo que un simple tren de estímulos (como pulsos del metrónomo), (2) el estímulo abarca una gran variedad de tempos y (3) los tempos están en diferente modo de respuesta, así la reacción no es solo una imitación del estímulo. (Traducción de Lezama-Espinosa & Hernández-Montiel, 2020).

Sinfonía No. 5

En Do menor Op. 67

L. Van Beethoven (1770-1827)
Transcripción por F. Liszt

Allegro con brio. $\text{♩} = 108$

ff Streicher u. Klar. p

Simplificación del ritmo
Sucesión
Duración

Figura 9. Representación visual de los elementos rítmicos

De acuerdo con la representación musical del ritmo, los eventos temporales se organizan por figuras rítmicas asociadas a una duración en específico (corchea $1/8$, la negra $1/4$, etc.), de tal forma que cada una mantiene el sonido de la nota por un periodo de tiempo. La sucesión, es decir, la interpretación de la secuencia de eventos sonoros (las figuras rítmicas) y su duración, puede retomarse de los esquemas de notación rítmico-musical. En simplificación rítmica: silencios (-), corchea () y blanca (), en sucesión: la secuencia organizada de eventos musicales y en duración: el tiempo en el que transcurre el sonido del evento musical. Modificado de Musescore.

El modelo general de *timing* ha sido utilizado para aplicarse en patologías como el TDAH, en donde se han reportado dificultades principalmente en la variante motora en dicho trastorno. Por un lado, la Dra. Katya Rubia, quien es pionera en el estudio con neuroimagen, ha dedicado su trabajo a caracterizar la etiología del TDAH, así como las deficiencias cognitivas a partir de estudios funcionales. Tal es el caso de la investigación realizada en 1999 en niños con TDAH y controles de edades de 6 a 12 años en donde aplican tres evaluaciones de *timing* motor: 1) tarea de anticipación sensoriomotora, se presentó un estímulo visual que consistió en una imagen de un avión que parpadeaba 40 veces en la pantalla con un intervalo entre estímulo de 6 segundos. La respuesta del participante era sobre un botón del teclado que debía presionar en el periodo intermedio entre un estímulo y otro; 2) tarea de *tapping* libre, que solicita al niño establecer su propio ritmo, buscando que sea regular, en un botón de respuesta y 3) tarea de sincronización motora, el participante debía sincronizar su respuesta motora utilizando un botón. El referente visual se estructuró en cinco ensayos, organizado de forma regular con intervalo

entre estímulo de 400 ms, 500 ms, 700 ms, 1200 ms y 1800 ms, asignado en ese orden, a uno de los ensayos. Concluye que no hay diferencias significativas en ninguna de las tareas. En la de sincronización, reporta que ante el ejercicio con intervalo más corto el participante con rasgos hiperactivos tiene tiempo de sincronización más rápido, tienen respuestas impulsivas que se evidenciaron por su reacción al estímulo, correlación negativa entre la variabilidad y la edad.

Por otro lado, Ben-Pazi y colaboradores en el 2003, realizaron un estudio en pacientes con TDAH y controles de 6 a 13 años de edad, en donde presentaban un tren de estímulos en un rango de 1 a 6 Hz, y la respuesta se registraba de acuerdo al número de interacciones con la barra espaciadora, considerando una media de error de 0.5 Hz. Los resultados muestran que los niños con TDAH tienen dificultades para sincronizar su conducta motora con el referente visual y auditivo, con respuestas anticipadas y tendencia a acelerarse, que denominaron “fenómeno de apresurarse”. A partir de lo anterior, es decir, los resultados que evidencian que no hay sincronización con el estímulo de los participantes con TDAH, la conclusión de Ben-Pazi y colegas (2003) sobre la causa que subyace esta conducta la asocian con el funcionamiento motor involucrado en circuitos dopaminérgicos. Este estudio es importante para la caracterización del comportamiento del paciente con TDAH en tareas de *timing* motor, sin embargo, se considera que los resultados pudieran tener un sesgo debido a que agruparon un rango de edad amplio que no permite analizar las diferencias de acuerdo a las características de la maduración en la población pediátrica.

La investigación de Tiffin-richards y colaboradores (2004) evaluó a partir de *tapping* a niños de 10 a 13 años, en donde consideraron casos con TDAH, con dislexia, con dislexia y TDAH y un grupo control. La evaluación consistió en tareas de *timing* motor (*free-tapping*, reproducción-continuación y sincronización al ritmo), las cuales se registraban en un canal auditivo de un software de audio a través de un teclado musical. Los estímulos tenían intervalos de 263 ms hasta 1200 ms y un

error sistemático o sincronía negativa, que se refiere a la respuesta anticipada a la señal, que oscilaba de los 20 ms a 80 ms.

En los parámetros estadísticos no se encontraron diferencias significativas, sin embargo, para la prueba de reproducción-continuación midieron el tamaño del efecto, el cual se encontró moderado para el TDAH en los intervalos de 500 ms. Lo anterior significa que, comparado con los controles, en los casos de TDAH hay mayor variabilidad en sus respuestas, lo cual se traduce en mayor dificultad de ejecución. La única diferencia significativa se encontró en la tarea de sincronización al ritmo que reportó mayor dificultad para reproducir ritmos complejos en los casos con dislexia. Este trabajo concluye que los niños con TDAH no tienen dificultad para reproducir intervalos temporales menores a 1000 ms, incluso en los casos con comorbilidad con dislexia.

Las investigaciones anteriores relacionan sus hallazgos a un problema de control motor (inhibición de la respuesta motora y preparación del movimiento) en el TDAH (Ben-Pazi, 2003; Durston et al., 2010; Nigg & Casey, 2005; Noreika et al., 2012; Tiffin-Richards et al., 2004; Valera et al., 2010). A la postura antes mencionada, se le une evidencia de estudios sobre la motricidad en la patología utilizando instrumentos como *Maze Coordination Task*, *Groove Pegboard* y *Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency (BOT-2)*, en los que describen dificultades motoras con una prevalencia del 30% al 50% (Mokobane, Pillay & Meyer, 2019). Las fallas más comunes son en tareas que requieren coordinación de movimientos complejos (Kaiser et al., 2013), planeación motora (Dahan & Reiner, 2017), control motor (Dahan et al., 2018), coordinación motora fina y velocidad psicomotora, que se asocian a la edad (a menor edad más dificultad) (Mokobane, Pillay & Meyer, 2019; Tseng et al., 2004).

En las investigaciones de *timing* motor, pese a los resultados, presentan algunas consideraciones metodológicas, particularmente en: 1) la estructuración de las tareas, debido a que no se describe la duración de los estímulos (sólo los

intervalos); 2) el análisis de los resultados para concluir si se presentó el *timing* motor, se limita a los datos obtenidos de los métodos estadísticos, lo que impide observar si hubo una secuencia rítmica o no y; 3) no se establece un grado o rango de error interno en la prueba, a pesar de considerar la asincronía negativa como un indicador de error, esta medición no describe el momento de sincronización ni el desplazamiento de las respuestas del participante sobre el estímulo, limitando la posibilidad de observar el fenómeno completo a la sola alternativa de anticiparse, recordando que la asincronía negativa se refiere a la respuesta que se ejecuta antes de que se presente el estímulo, si bien en investigaciones como la Ben-Pazi et al., (2003) se afirma que los niños con TDAH tienden a adelantarse al estímulo, sería prudente considerar que podrían también retrasarse o incluso sincronizarse al estímulo externo.

Además, algunas de las investigaciones de *timing* en TDAH ya mencionadas, pasan por alto la consideración de la maduración en el desarrollo de los casos que presentan, en el caso de Ben-Pazi et al., (2003) analiza en el estadístico a todos los casos generando su modelo de regresión lineal con las edades de 6 a 14 años. Rubia et al., (1999) de igual forma integran edades de 6 a 12 años, aunque no sean comparables, sin embargo, en las conclusiones menciona que a mayor edad el error disminuye y viceversa.

Teniendo en cuenta las observaciones anteriores, este trabajo consideró: 1) estructurar las tareas describiendo la duración del estímulo y los intervalos, 2) analizar los resultados en secuencia rítmica mediante gráficos circulares (ver resultados) que representan el comportamiento de los eventos temporales, 3) establecer un rango de error constante en la prueba (500 ms) que no solo describe la anticipación sino también la asincronía positiva y el tiempo de sincronización, y 4) limitar el rango de edad de modo que los parámetros de maduración puedan ser similares y sea posible establecer inferencias.

V. HIPÓTESIS

Los niños con TDAH presentan dificultad en sincronización motora en las tareas de ritmos isocrónicos en un rango de eficiencia de +/- 500 ms.

VI. OBJETIVOS

Describir la sincronización motora de niños con TDAH durante la evaluación de tareas rítmicas.

- Caracterizar las tareas de ritmo mediante un software que permita evaluar la respuesta motora a estímulos rítmicos en pacientes con TDAH
- Evaluar dificultades motoras finas relacionadas a las habilidades necesarias para las tareas de sincronización motora
- Establecer el grado de sincronización motora de la evaluación en los pacientes con TDAH

VII. METODOLOGÍA

Sujeto experimental

Niños en edad pediátrica en un intervalo de 7 a 9 años con diagnóstico de TDAH inatento (TDAH/I), hiperactivo-impulsivo (TDAH/H-I) o combinado (TDAH/C) que cursan educación primaria en escuelas públicas o privadas que reciban invitación, contacten o sean contactados por los investigadores.

Sobre el sujeto experimental

En los niños de 7 a 9 años se pueden observar habilidades motoras como saltar, atrapar, aventar o balancearse las cuales se refinan de los 6 a los 10 años. El control motor a esta edad es similar al que presentan los adultos (Cech y Martin, 2012), sin embargo, se encuentra que el tracto corticoespinal necesario para el desempeño motor es parcialmente maduro entre los 6 y 9 años alcanzando su

madurez cerca de los 10 años, por lo que las habilidades motoras finas aún están en proceso. Esta evidencia se relaciona con la evolución de estructuras corticales y subcorticales del SNC (Giedd et al., 2015).

Rosselli et al., (2010) describe que la lateralidad y orientación derecha-izquierda se organiza entre los 5 y 8 años, sugiere que se debe a la mielinización de la formación reticular, de las comisuras cerebrales y áreas subcorticales de asociación que continúan a esta etapa. El niño o niña entre 6 y 8 años es capaz de inhibir su conducta, además, ha adquirido estrategias de autocontrol y automonitoreo (Rosselli et al., 2010). Vinculado con el desenvolvimiento del sistema nervioso, el desarrollo psicológico se describe principalmente en los logros y modificaciones cognitivas que Piaget desglosa en el periodo de 7 a 9 años y los describe como “operaciones concretas”. El niño o niña en esta etapa es capaz de la resolución de problemas y el pensamiento sistemático es posible a partir de objetos y actividades reales (Cech y Martin, 2012), evidencia pensamiento simbólico y reversibilidad en pensamiento.

Diseño experimental: Reporte de casos

El reporte de casos es un tipo de estudio observacional descriptivo que puede dar a conocer aspectos como: un nuevo método diagnóstico, una nueva terapia, una descripción de la evolución inesperada, una modificación terapéutica o la presentación poco usual de una patología. Utiliza una muestra de máximo 5 sujetos, permitiendo generar hipótesis que se prueben con estudios de metodología más rigurosa e extensa (Guerrero, Pichardo-Rodríguez & de la Cruz-Vargas, 2016; Manterola & Otzen, 2014; Pineda-Leguizamo et al., 2018).

Modelo de evaluación: ritmoV

Para el proyecto se elaboró el software “ritmoV”, por medio de una colaboración con el Ing. Roberto García, estudiante de la Maestría en Inteligencia Artificial de la Facultad de Ingeniería de la UAQ. RitmoV utiliza un lenguaje de

programación basado en Java que incorpora el entorno de desarrollo matemático conocido como *processing*. El modelo propuesto en ritmoV, utiliza una estructura temporal rítmica en escala de milisegundos que permite exhibir las funciones conductuales motoras sincronizadas al estímulo temporal (Clarke, 1999; Noreika et al., 2012). Para ello, se presentan estímulos visuales y auditivos en secuencia rítmica, a los cuales responde el participante a través de tres teclas del teclado de computadora, interactuando con el ritmo bajo la instrucción de sincronizarse lo más posible a la información visual y auditiva que se le presente en el monitor. El ritmo requiere considerar tanto los sonidos como los silencios aunque en los modelos de timing particularmente el de Wing y Kristoffersen (1974) sólo consideran el intervalo porque les interesa medir la sucesión temporal, para nuestro trabajo era importante que la tarea además de considerar lo anterior, también represente el ritmo y la sincronización a la tarea mantenga su percepción, por eso medimos los silencios así como los estímulos, estableciendo un rango de error que no modifique el patrón rítmico sino que se ajuste junto con la respuesta, tal como se presenta en el siguiente esquema (Fig. 10):

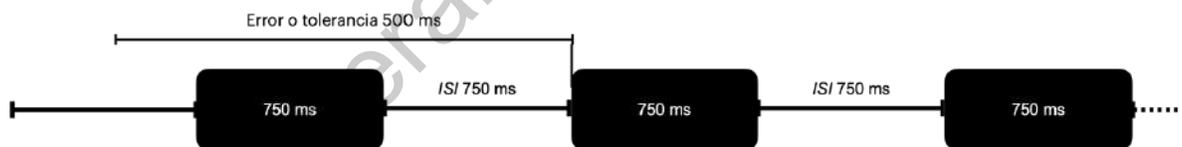


Figura 10. Esquema que representa el error en el patrón rítmico.

El estímulo visual

El estímulo visual consta de círculos con tres colores diferentes, rojo, azul y verde, vinculados con el sonido del estímulo auditivo, aparece y se desplaza de izquierda a derecha de la pantalla, en cada una de las pistas. Se utiliza con la finalidad de reafirmar el patrón rítmico (Levitin, Grahn, & London, 2018).

El estímulo auditivo

El estímulo auditivo son sonidos de instrumentos musicales percutidos: bombo, platillo, tambor, que se escuchan junto con la exposición del estímulo visual hasta terminar la secuencia. Los sonidos de instrumentos tienen la intención de generar un pulso que difiera al tren de estímulos simple del metrónomo o un generador de sonido.

Patrón rítmico

El patrón rítmico se realizó a partir de notación musical, organizando los estímulos en secuencias o ritmos isocrónicos. La duración por pista tanto del evento (figura rítmica) como del intervalo entre estímulo (ISI) o silencio es la misma en una escala de tiempo a milisegundos, sin embargo, se establecen diferentes tempos³ e *ISI* entre cada una de las pistas. Cada pista está estructurada en una medida de compás de 4/4 con cuatro compases, en donde el estímulo auditivo se representa con la figura de nota del cuarto o negra, con 16 estímulos en total por pista. La velocidad y duración de estímulos e ISI varían de acuerdo con la pista de la siguiente manera (tabla 3):

Tabla 3. Patrón rítmico en ritmoV.

Pista	Estímulo auditivo	Estímulo visual	Duración	ISI	Tempo
1	Bombo	Círculo azul	750ms	750ms	80 bpm
2	Bombo y platillo	Círculo azul y rojo	600ms	600ms	100 bpm
3	Bombo y pandero	Círculo azul y verde	500ms	500ms	120 bpm

³ El tempo es la velocidad en la que los eventos musicales se desarrollan (Levitin, Grahn, & London, 2018)

Cada pista tiene una o un conjunto de teclas asociadas al color y los 16 eventos con los que se debe interactuar. El rango de error que se utiliza es de +/- 500 ms, esto permite establecer un margen para que la conducta motora se manifieste o se inhiba y la sincronización pueda delimitarse como efectiva o no (Fig. 11) (Large, Herrera & Velasco, 2015). Para lo anterior, el software registra tres variables: (1) que se presione la tecla correcta, (2) el tiempo en que se presiona la tecla (tiempo presionado) y (3) el tiempo en el que no se presiona para respetar el ISI (tiempo sin presionar).

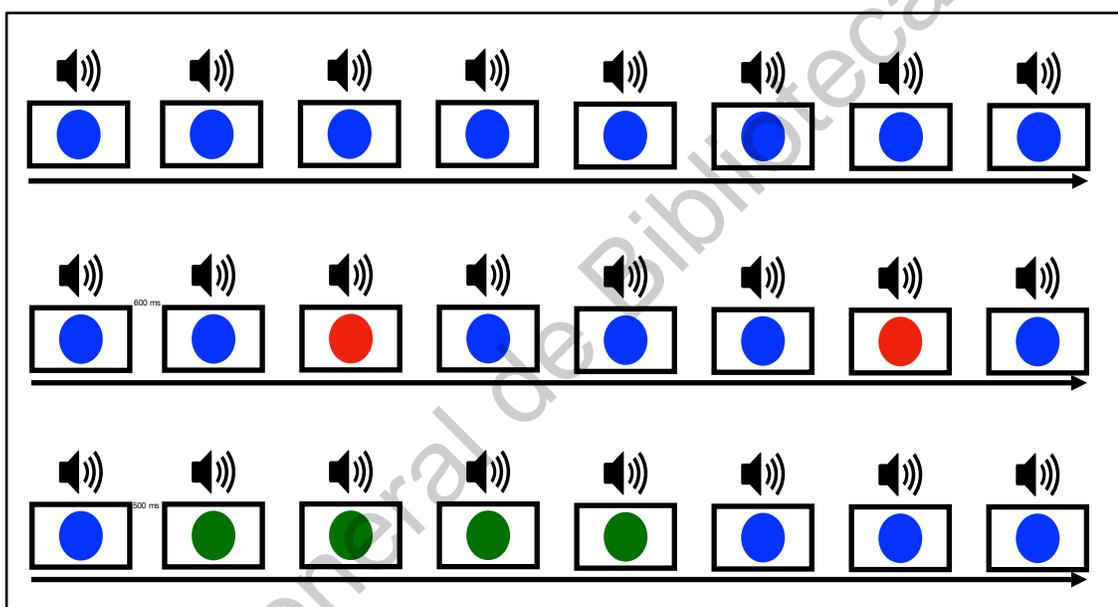


Figura 11. Esquema de la tarea utilizada en ritmoV. En el esquema se muestran solo 8 estímulos. Se exponen de la más sencilla (arriba) a la más compleja (abajo).

El tiempo presionado y el tiempo sin presionar hacen referencia al evento rítmico temporal, considerando a la duración del estímulo visual y auditivo y al *ISI*, de tal forma que para integrar la secuencia rítmica el participante debe lograr preparar el movimiento y generar una conducta motora posterior en referencia al evento, es decir, simultánea. La descripción del desempeño del participante se realiza con la comparación con el tiempo de referencia establecido para ambos parámetros.

Para registrar la respuesta, asigna un puntaje de 0.625 por evento al cumplir acertadamente al conjunto de las tres variables, es decir, si se presionó la tecla correcta, respetando el tiempo presionado y sin presionar, se obtiene este puntaje. Los puntos se acumulan obteniendo 10 puntos al final de cada pista; la cuenta reinicia al cambiar al siguiente patrón rítmico. En caso de fallar en alguno de los criterios, el programa no asigna puntaje, repite el último obtenido y al generar un acierto comienza desde el dato anterior, para representar lo que significa seguir una secuencia rítmica.

Al participante se le dan las instrucciones de forma oral, pidiendo que se coloquen frente al equipo de cómputo, escriba su nombre y edad en el programa y realice la actividad de la siguiente manera: (1) Observe y escuche la secuencia de círculos y sonidos al mismo tiempo que (2) haga su mejor esfuerzo para seguir al estímulo auditivo y visual con las teclas que sean del mismo color, y (3) mantenga la tecla presionada el tiempo que dure cada estímulo.

El análisis de resultados de la ejecución de los participantes se realiza mediante gráficas tipo radian, ya que este tipo de gráfico permite observar la secuencia temporal del estímulo auditivo y visual en ritmoV, esto es los 48 eventos, y compararlo con el patrón de respuestas de sincronización motora de los casos. El gráfico es una figura de círculos circunscritos, en donde cada círculo representa un evento sumando en total 48 eventos. El puntaje total de cada evento establecido en ritmoV forma un patrón de referencia marcado en rojo. La respuesta del participante se ubica con otro patrón de acuerdo al puntaje obtenido en cada evento comparado con los parámetros de ritmoV y se representan en color azul (primer ensayo) y verde (segundo ensayo).

Prueba Piloto

Con el fin de confirmar la precisión y diseño de tarea en el software se realizaron dos pruebas piloto a un control, niña de 7 años sana y un caso con TDAH, niño de 7 años con diagnóstico predominante hiperactivo. La evaluación se llevó a

cabo dentro del hogar de los participantes. Se acondicionó un espacio proporcionado por la familia en donde se colocó la computadora sobre una mesa y el paciente sentado frente al monitor. Una vez descritas las instrucciones se comienza a interactuar con la prueba.

Durante la prueba al control, se puede observar la comprensión de las instrucciones, así como de los eventos de la prueba, hay buena interacción con los elementos del diseño. En la aplicación al paciente con TDAH, el niño manifestó varias conductas propias de los síntomas como retirarse los zapatos para caminar por el lugar, actividad motora excesiva que requirió mucho tiempo para lograr tomar su lugar sentado. Sin embargo, durante la prueba el caso evidencia comprensión de las instrucciones, muestra regulación para esperar su turno de interactuar con las teclas, es decir, cuando se requiere que observe su primera reacción es ir a las teclas, sin embargo, parece recordar que le es momento de observar y entonces retrae las manos hasta que aparece en pantalla el botón de repetir; permanece sentado durante la aplicación, muestra comprensión de los elementos en el diseño de la prueba. Ambos, caso y control, logran completar la prueba de forma similar, identifican colores, responden al estímulo auditivo, y asocian con el color de la tecla.

Durante las pruebas piloto se puede observar a los participantes interactuar con la prueba, lo que hace evidente que la construcción y el diseño del software es comprensible, los elementos presentes se identifican y escuchan, además el comportamiento de ambos es similar. Permanecen orientados a la tarea, mantienen la postura deseable para su ejecución, esto es sentados, y esperan su turno para ejecutar después de observar. Aunque el paciente con TDAH hace mayor esfuerzo por esperar, en todos los momentos es capaz de hacerlo.

Aunque los valores de la prueba que registra el software no son concluyentes, los datos no difieren del control con el caso, lo que podría analizarse desde la perspectiva de lo que sucede al interactuar con una tarea que presenta estímulos más complejos que un simple tren de pulsos visual y auditivos.

Después de la aplicación de la prueba piloto, se ajustaron variables del software. Se eliminó la presentación de la secuencia rítmica de tal forma que no se observe primero y después se repita, si no que la interacción sea simultánea con la presentación del estímulo auditivo-visual. Además, se amplió la duración de las pistas, haciendo cada una de 16 estímulos visuales-auditivos en lugar de los 8 que duraba cada pista, con la intención de facilitar la percepción del ritmo.

VIII. Análisis de resultados

Aplicación de instrumentos

Anteriormente, se tenía el acuerdo con Unidad de Servicios de Apoyo a la Educación Regular (USAER) para referir a los niños y las niñas con TDAH, pero debido a la contingencia por COVID-19 no fue posible continuar con el convenio. De igual forma se realizó una propuesta al *International School of Querétaro*, sin embargo, el trámite no concluyó debido a que el semáforo COVID a nivel estatal se encontraba en rojo, por lo que la convocatoria para participantes se hizo por medio de cartel digital abierto al público.

Los instrumentos de aplicación utilizados fueron la Escala Connors abreviada de Conducta para Padres y de Conducta en el Hogar como referente al diagnóstico de TDAH de los casos, la Batería Neuropsicológica para la Evaluación de los Trastornos del Aprendizaje (BANETA) en los dominios que caracterizan dificultades motoras y el software ritmoV para evaluación de la sincronización motora.

El proceso de selección y evaluación fue el siguiente:

1. Publicidad del cartel en medios digitales
2. Contacto vía WhatsApp para presentación general del proyecto y solicitar una llamada telefónica

3. Llamada telefónica para realizar entrevista con motivo de obtener datos de historia clínica y la evaluación con Escala Conners para padres y del hogar
4. Agendar una cita para evaluación en el domicilio del participante
5. Evaluar al participante con BANETA y tarea de ritmoV

La duración de la evaluación para cada uno de los participantes fue de 20 minutos máximo, ya que el semáforo covid del estado se encontraba en rojo y se consideró la recomendación del Centro de Control y Prevención de Enfermedad de Estados Unidos que sugiere estar máximo 20 minutos para no exponerse al contacto con el virus.

Escala Conners abreviada de Conducta para Padres y de Conducta en el Hogar

La Escala Conners es un cuestionario elaborado por Keith Conners en 1989, que se aplica a los padres y maestros con la finalidad de valorar problemas de atención, hiperactividad, impulsividad en niños de 6 a 11 años. La versión abreviada consiste en 48 ítems con estructura de escala Likert y se divide en cuatro subescalas: ansiedad, hiperactividad, psicopatización, aprendizaje y conducta. La versión para padres considera que un puntaje mayor a 16 evidencia rasgos de la patología. La Conners transforma los valores obtenidos en puntajes T como parámetro comparativo con los estándares de normalidad. La traducción al español se realizó por Farré y Narbona en 1997 en población infantil española, sin embargo, se cuenta con un estudio de la consistencia y validez del instrumento en población mexicana (Lara, De la Peña, Castro & Puente, 1998) en el que se evaluaron 745 niños y niñas de escuela primaria.

Batería Neuropsicológica para la Evaluación de los Trastornos del Aprendizaje

La prueba BANETA es una herramienta neuropsicológica analítica realizada en México (Yáñez & Prieto, 2013) con población infantil de 7 a 12 años. Incluye 41 pruebas para evaluar atención, procesamiento fonológico, repetición, comprensión, gramática, lectura, dictado, aritmética, percepción y memoria de trabajo, así como

la evaluación de habilidades motoras debido a que en el lenguaje como en la motricidad manual se expresan igualmente alteraciones en la actividad temporal (Yáñez & Prieto, 2013). A partir de los resultados en las subpruebas, se elabora un perfil por edad que contiene las deficiencias en procesos y componentes de los modelos de lectura, aritmética y alteraciones sensoriales y motoras asociadas, con la finalidad de desarrollar una intervención específica a las particularidades del sujeto. Considera valores de confiabilidad de .62 a .93 en alfa de Cronbach dependiendo la prueba. La estandarización para las pruebas motoras utiliza la U de Mann-Whitney. En esta evaluación se utilizaron los dominios de coordinación, enlentecimiento y velocidad para medir el desempeño motor con el fin de obtener generalidades de las habilidades motoras finas. Dicha prueba refiere los siguientes parámetros:

De acuerdo con las especificaciones del BANETA, los dominios consideran lo siguiente:

- Coordinación motora: evalúa el ritmo, la alternancia de movimientos y la precisión en la reproducción de las secuencias motoras mediante una tarea de pronación-supinación de manos. Puede haber torpeza, lenificación e imprecisión
- Enlentecimiento motor: evalúa la velocidad con la que se pueden llevar a cabo las secuencias motoras utilizando los puntajes del tiempo de ejecución de la tarea de pronación-supinación y de la tarea de tocar cada dedo con el pulgar en secuencia. Puntuaciones bajas (lentitud)
- Velocidad motora (tapping) - alternado bimanual: evalúa la velocidad motora y el control de los dedos, así como la planeación de los movimientos para realizar la coordinación de las manos para golpear sobre la mesa con ritmo en patrones 2D-1I, 2I-1D

Los resultados de cada sub-prueba se califican en puntaje y se integran a los perfiles especificados en los datos psicométricos de BANETA que ubican y transforman el conjunto de valores por prueba a percentiles: de 10 al 20 rendimiento bajo, 30 al 40 rendimiento promedio bajo, del 50 al 80 rendimiento promedio alto y 90 a 100 rendimiento excelente.

Descripción de casos.

Los resultados se presentan en orden cronológico, es decir, de menor edad a mayor edad de los niños evaluados.

Caso 1

Es un niño de 7 años, estudiante de segundo de primaria en una escuela privada con pedagogía libre. Diagnosticado con TDAH/C a los 7 años y se le prescribió tratamiento farmacológico de MFD. En la actualidad, manifiesta dificultades con la atención, tanto para mantenerla cuando se le habla directamente, como cuando debe realizar tareas y seguimiento de instrucciones. Tiene complicaciones para organizarse en actividades por lo que puede ser descuidado y se distrae fácilmente por estímulos irrelevantes. Presenta movimiento excesivo del cuerpo al tener que permanecer sentado, es muy frecuente que abandone su asiento en situaciones cuando debe permanecer en su lugar y usualmente es desbordado en su conducta. Su comportamiento es en gran medida activo e interrumpe las actividades de otros. Además, se describen algunas dificultades motoras finas como: de manipulación de objetos, para atarse las agujetas de los zapatos, o en la escritura. Se indica que se observa un atraso en el aprendizaje.

No se reportan intervenciones pasadas de ningún tipo. En general cuenta con buena salud. Sobre los antecedentes familiares, el padre cursa con la misma patología de TDAH.

El resumen de resultados de examinación se muestra a continuación:

Escala Conners para Padres y de Conducta en el Hogar

En la Escala Conners para Padres, obtuvo en su totalidad 16 puntos, lo cual concuerda con el diagnóstico de TDAH. De las seis dimensiones de la prueba Conners en el Hogar, los puntajes significativos (>70) particularmente resaltan en problemas de aprendizaje y conducta (Tabla 4. Fig. 12)

Tabla 4. Escala Conners Padres/Hogar

Caso 1						
Conducta	Aprendizaje	Psicosomático	Impulsividad/hip	Ansiedad	Hiperactividad	Padres
66	69	55	60	45	53	70

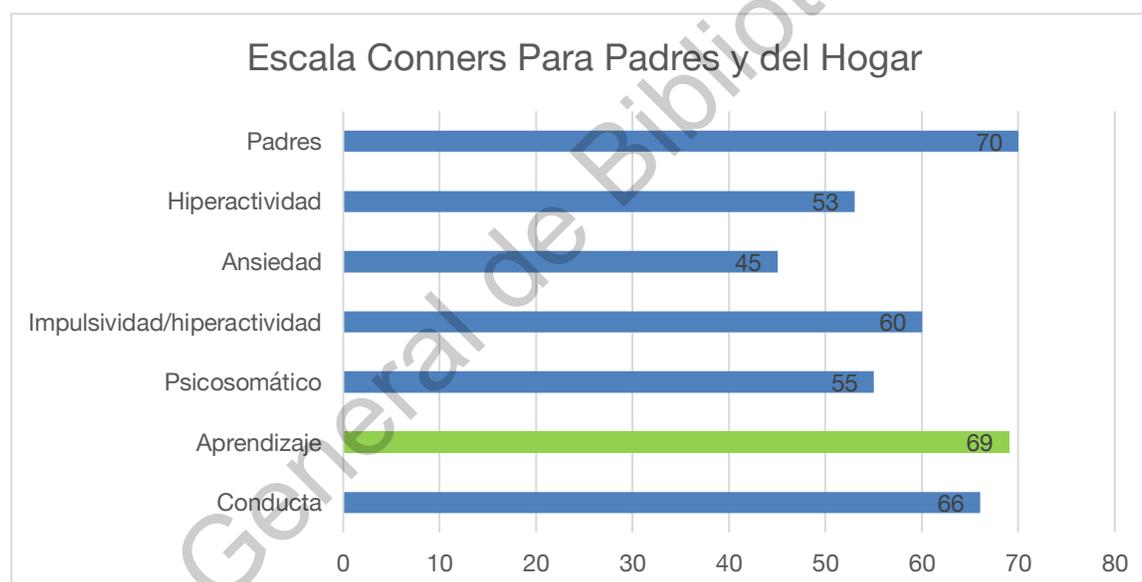


Figura 12. Gráfica de resultados en Escala Conners del caso 1

BANETA

En el caso de la prueba BANETA en la categoría de coordinación motora, el participante ejecutó de acuerdo con los parámetros de alternancia (movimiento de pronación-supinación de la mano), sin embargo, los rubros de periodicidad y precisión sugieren complicaciones para mantener ritmo y precisión al target (círculo) a lo largo de las ejecuciones, más notorios en la mano derecha. Respecto al enlentecimiento motor, en la sub-prueba, la ejecución puede indicar dificultad para

conservar la precisión y velocidad al ejecutar las secuencias. Su movimiento de manos y dedos se percibe irregular y en *tapping* motor presentó dificultad para alternar el *tap* de los dedos del patrón indicado, es decir, realizó más repeticiones con un mismo dedo que podrían ser involuntarios, lo anterior evidencia cierta dificultad en la ejecución con ritmo (Tabla 5, Fig. 13).

Tabla 5. Resultados de BANETA en percentiles

Caso 1							
Coordinación motora				Enlentecimiento motor		Tapping	
Periodicidad	Alternancia	Precisión	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda	Alternado bimanual
10	100	40	10	50	30	30	50

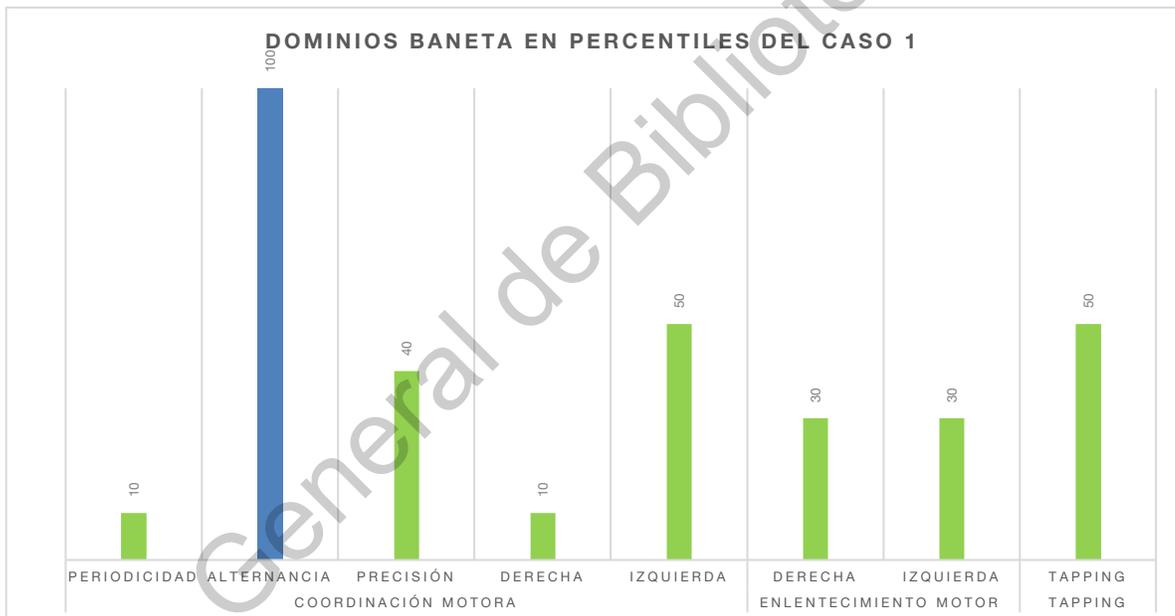


Figura 13. Gráfica de Resultados de BANETA del caso 1

En la gráfica circular se representan los datos obtenidos de ritmoV, se pueden observar tres elementos, el patrón de referencia (rojo), las respuestas del ensayo 1 (azul) y las respuestas del ensayo 2 (verde). El participante 1 tiene una respuesta similar en ambos ensayos con una varianza interna de cada pista, como sigue: pista 1=0, pista 2= 0.195 y pista 3=1.758, siendo esta última la que manifiesta mayor cambio del ensayo uno al ensayo dos. Lo cual se traduce en un mejor desempeño en el primer ensayo.

Considerando que los criterios establecidos en ritmoV buscan evaluar la comprensión de las secuencias rítmicas en función de sucesión y duración, el participante 1 logró sincronizar su respuesta al inicio de cada pista, es decir, mantuvo el tiempo presionado y sin presionar, así como utilizó la tecla correcta, sin embargo, no sucede de la misma manera con el resto de los eventos, siendo evidente que tuvo dificultad para sincronizar la respuesta motora al estímulo visual-auditivo rítmico pero manteniendo una tendencia similar a la secuencia de referencia en algunos momentos del ejercicio tal como se observa en el gráfico (Fig. 14).

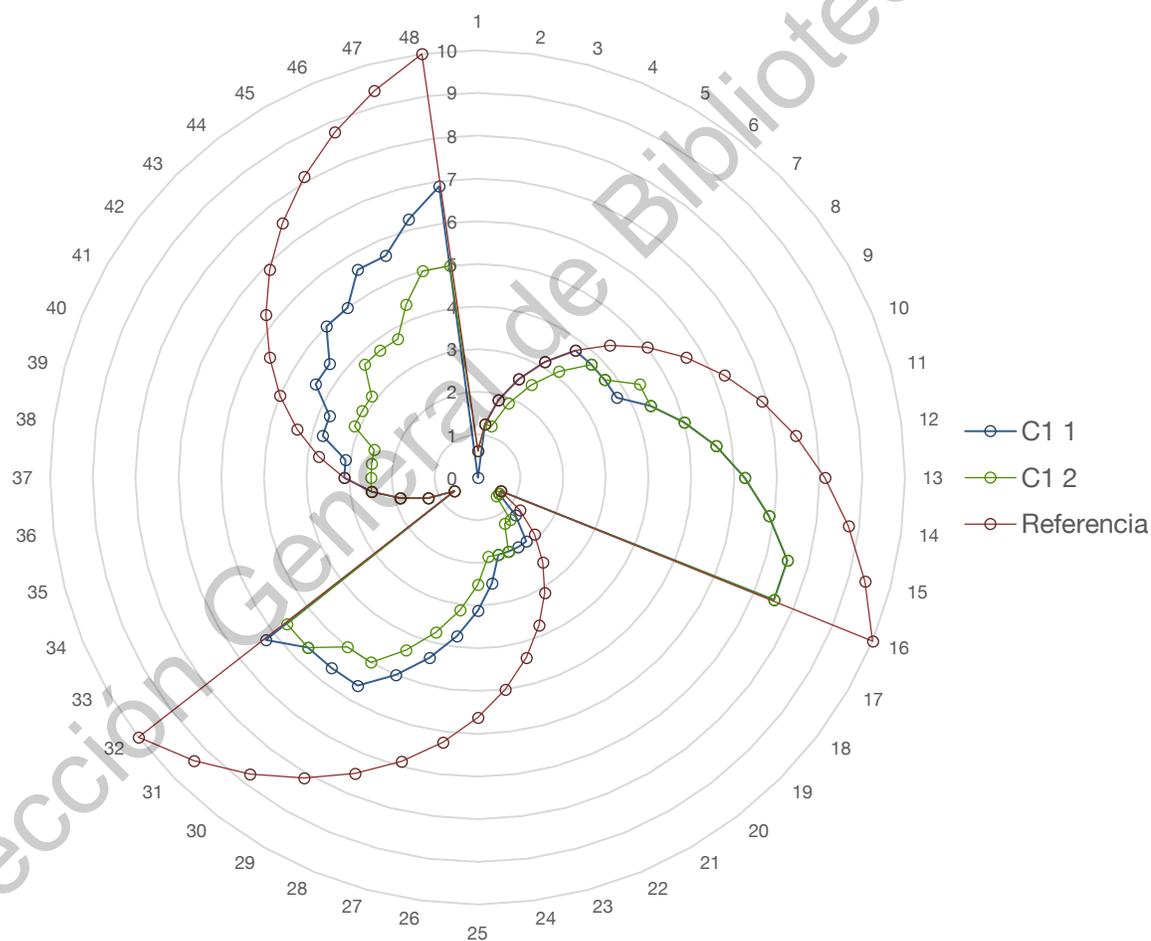


Figura 14. Gráfico radial de sincronización motora del caso 1

Respecto a los elementos para representar la variación de la respuesta motora a los intervalos regulares temporales, se consideró utilizar los parámetros de tiempo presionado y sin presionar de la ejecución (Fig. 15).

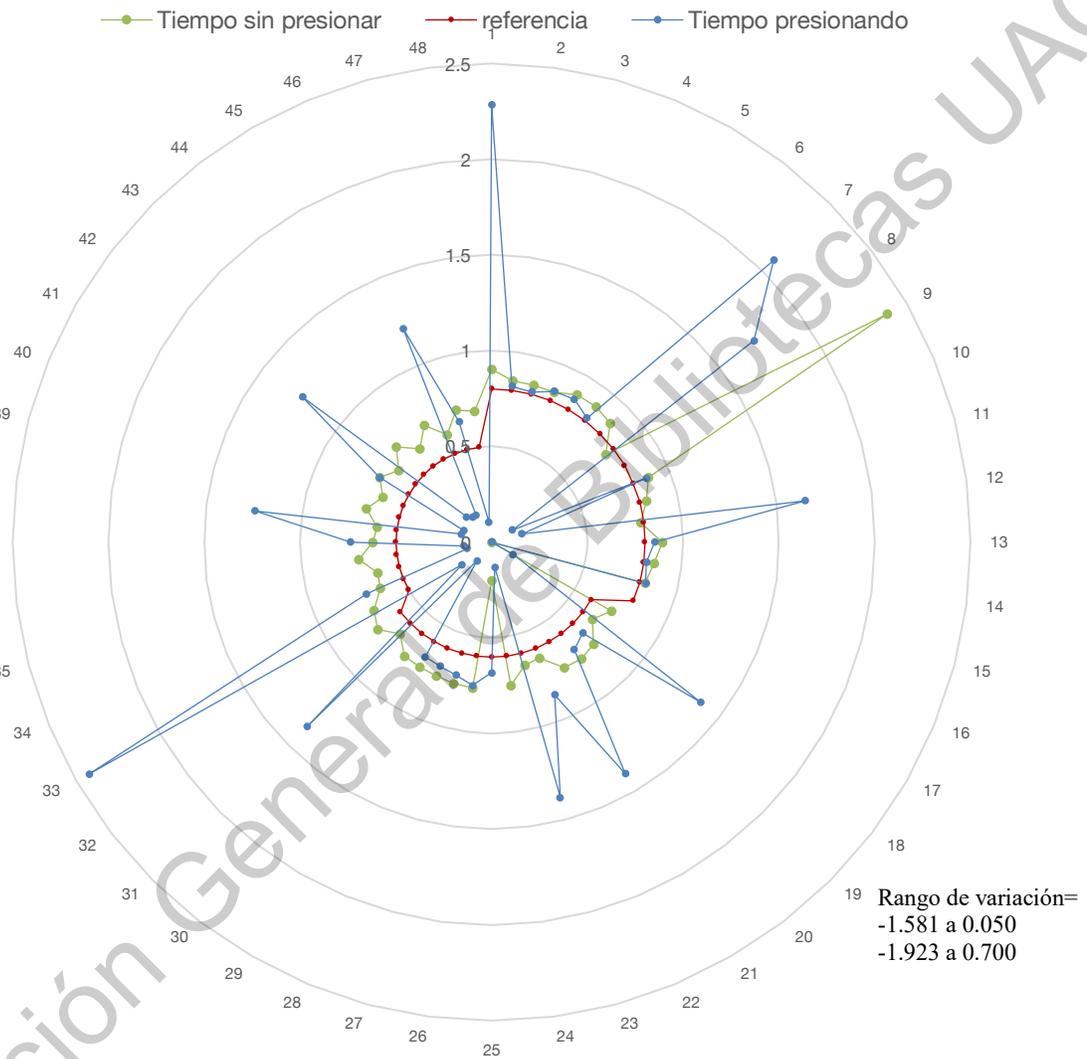


Figura 15. Gráfico radial de tiempo de respuesta motora del caso 1

Caso 2

Es un niño de 8 años, estudiante de tercero de primaria en una escuela pública. Diagnosticado con TDAH/C a los 7 años y no se prescribió tratamiento farmacológico. Actualmente, manifiesta dificultades para atender a los detalles, en el seguimiento de instrucciones y para sostener una tarea mental demandante. Le es complicado organizarse en actividades y se distrae fácilmente por estímulos irrelevantes. Su comportamiento es muy activo, se precipita al responder y tiene dificultades para esperar. Tuvo acompañamiento psicológico escolar hasta antes de la pandemia covid19. En general cuenta con buena salud y no se encuentra algún antecedente familiar que curse con la misma patología.

El resumen de resultados de examinación se muestra a continuación:

Escala Conners para Padres y de Conducta en el Hogar

En la Escala Conners para Padres, obtuvo en su totalidad 18 puntos, lo cual concuerda con el diagnóstico de TDAH. De las seis dimensiones de la prueba Conners en el Hogar, los puntajes significativos (>70) particularmente resaltan en problemas de aprendizaje y en menor escala los de conducta (Tabla 6, Fig. 16).

Tabla 6. Escala Conners Padres/Hogar.

Caso 2						
Conducta	Aprendizaje	Psicosomático	Impulsividad/hip	Ansiedad	Hiperactividad	Padres
75	91	66	64	60	59	18 ⁱ

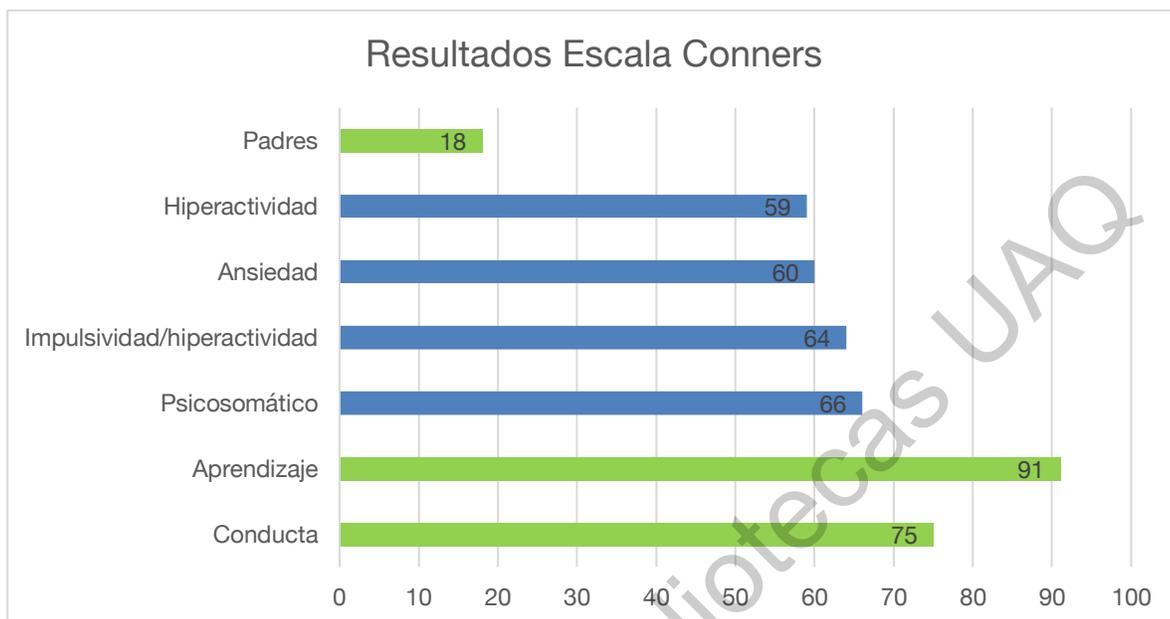


Figura 16. Gráfica de Resultados de Escala Conners del caso 2

BANETA

En el caso de BANETA, en la categoría de coordinación motora, ejecutó de acuerdo con los parámetros de alternancia (movimiento de pronación-supinación de la mano), precisión y periodicidad. Los resultados de la sub-prueba de enlentecimiento motor sugieren dificultades relevantes en la precisión de movimiento para seguir la secuencia de tocar cada dedo conservando la velocidad. En tapping motor conserva el patrón de lentificación al ejecutar la tarea, en algunas ocasiones aumenta el número de *taps* de la secuencia, haciéndolos de manera torpe y apresurada (Tabla 7. Fig. 17).

Tabla 7. Resultados de BANETA en percentiles.

Caso 2							
Coordinación motora					Enlentecimiento motor		Tapping
Periodicidad	Alternancia	Precisión	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda	Alternado bimanual
100	100	100	100	100	20	20	70

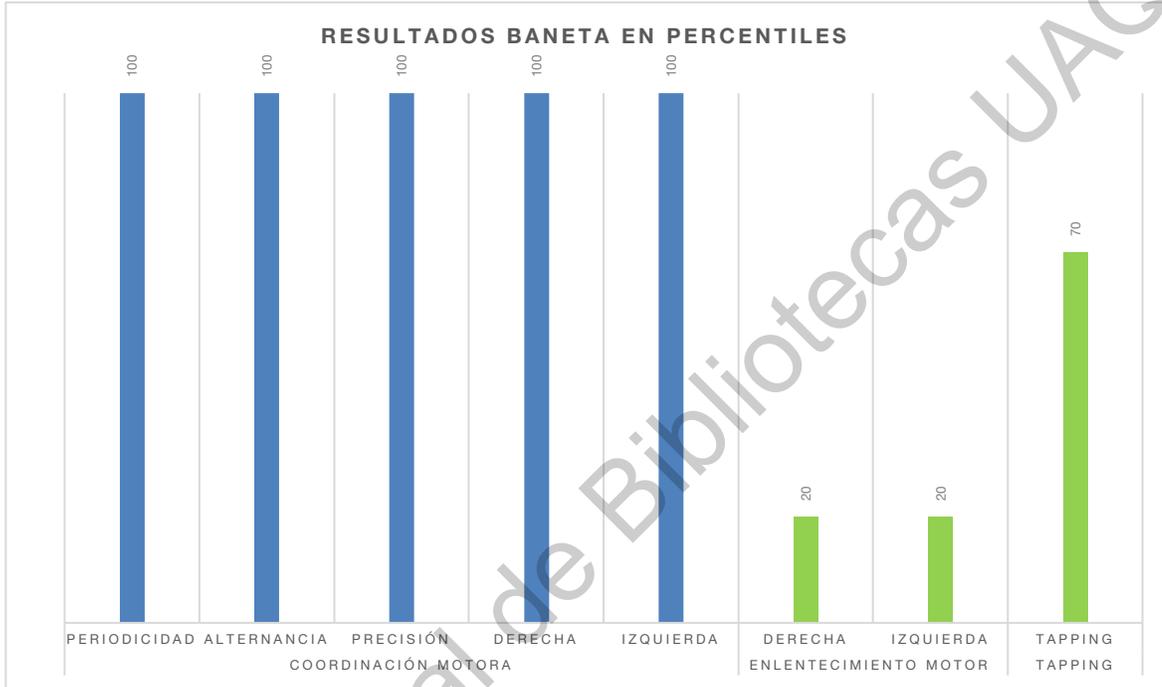


Figura 17. Gráfica de Resultados de BANETA del caso 2.

ritmoV

En la gráfica circular se representan los datos obtenidos de ritmoV, se pueden observar tres elementos, el patrón de referencia (rojo), las respuestas del ensayo 1 (azul) y las respuestas del ensayo 2 (verde). El participante 2 tiene una respuesta similar en ambos ensayos con una varianza interna de cada pista, como sigue: pista 1=0.195, pista 2= 0.195 y pista 3=0. Considerando que los criterios establecidos en ritmoV buscan evaluar la comprensión de las secuencias rítmicas en función de sucesión y duración, el participante 2 logró sincronizar su respuesta al inicio de la pista 1, es decir, mantuvo el tiempo presionado y sin presionar, y utilizó la tecla correcta, sin embargo, no sucede de la misma manera con el resto de los eventos, y las pistas 2 y 3, siendo evidente que tuvo dificultad para sincronizar la respuesta

motora al estímulo visual-auditivo rítmico con resultados que distan del patrón como se observa en el gráfico (Fig. 18).

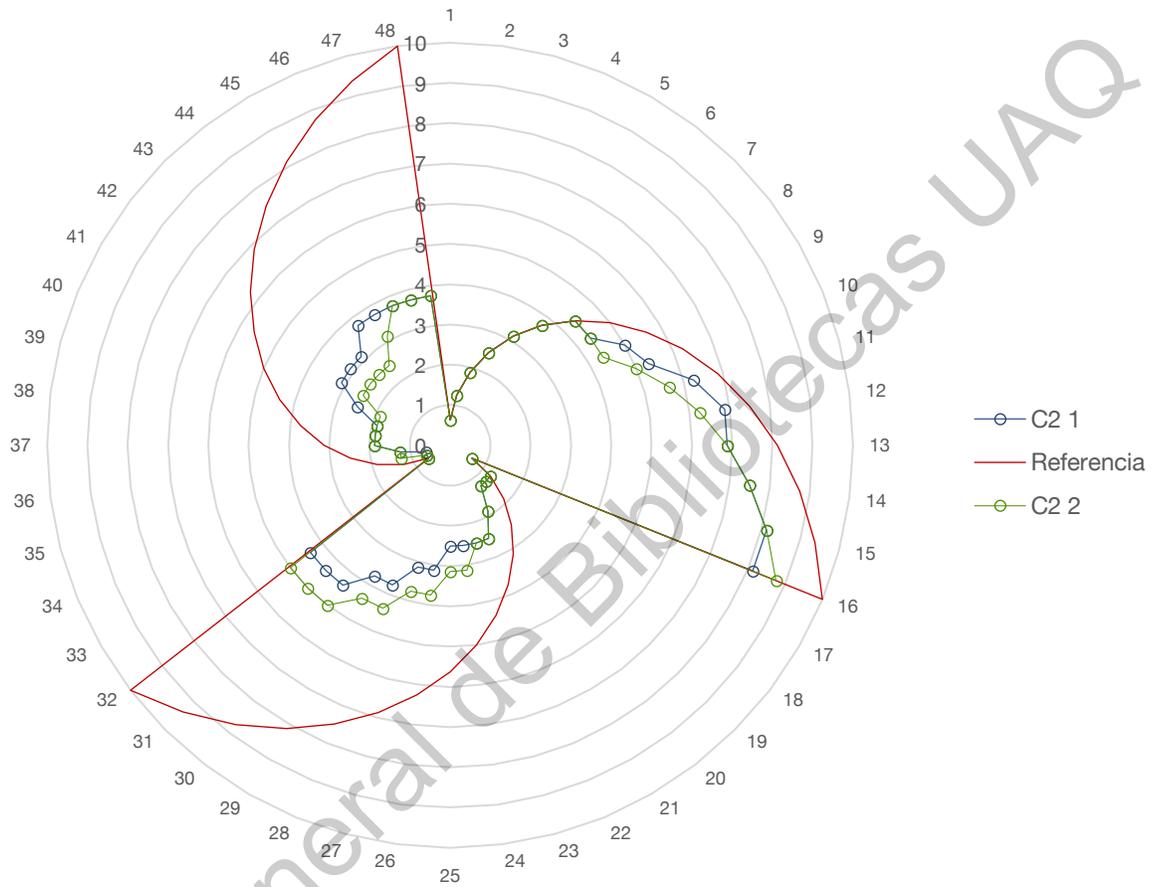


Figura 18. Gráfico radial de sincronización motora del caso 2.

Respecto a los elementos para representar la variación de la respuesta motora a los intervalos regulares temporales, se consideró utilizar los parámetros de tiempo presionado y sin presionar de la ejecución (Fig. 19).

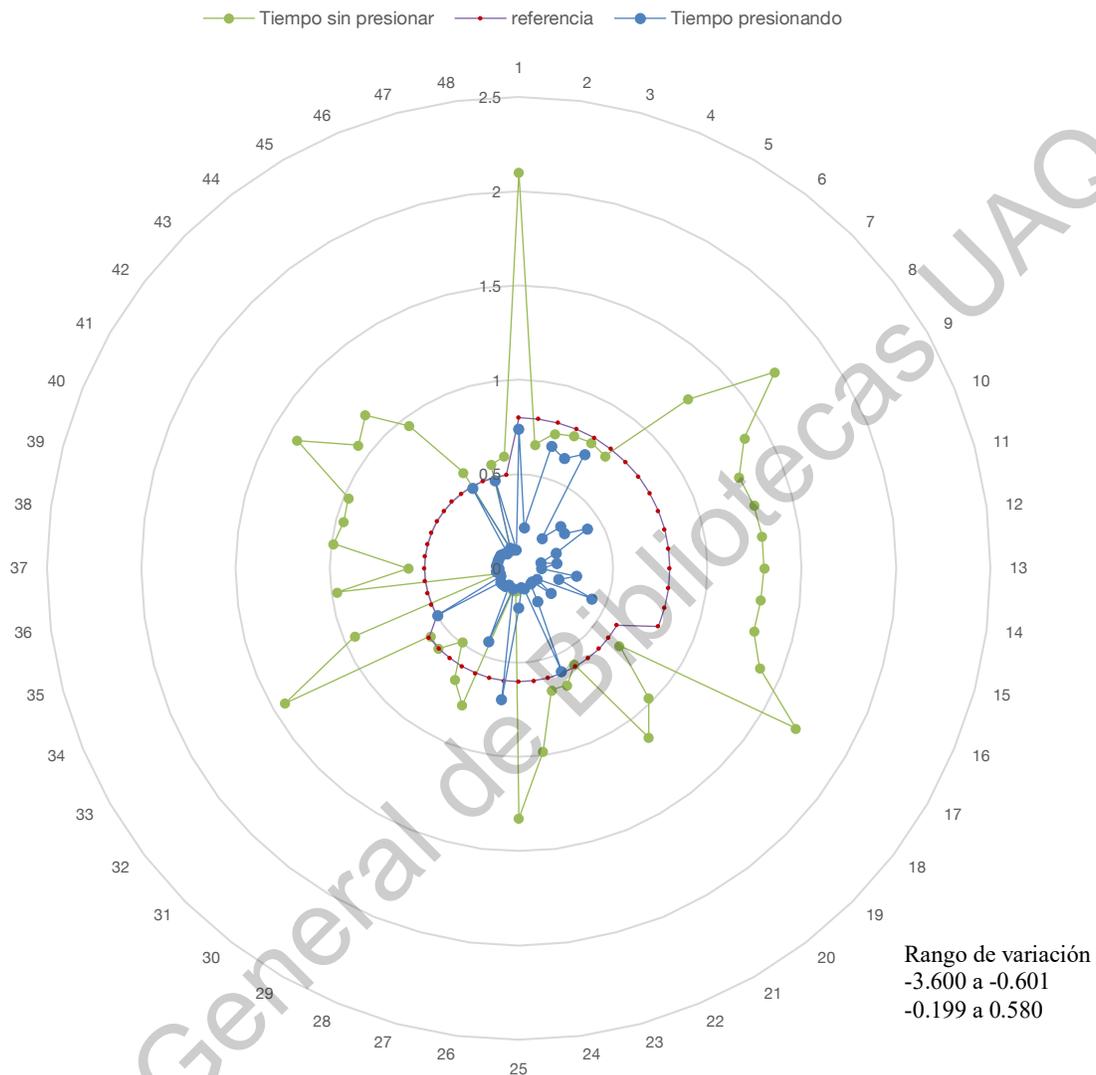


Figura 19. Gráfico radial de tiempo de respuesta motora del caso 2.

Caso 3

Es un niño de 8 años, estudiante de segundo de primaria en una escuela pública. Fue diagnosticado con TDAH/I a los 7 años y no se prescribió tratamiento farmacológico. Manifiesta dificultades para organizarse en tareas y actividades, así como para mantenerse enfocado en aquellas tareas que requieren esfuerzo mental sostenido. Es frecuente que no preste atención a los detalles, cuando se le habla

directamente y al seguir de instrucciones. Se distrae fácilmente por estímulos irrelevantes.

Realiza movimientos de manos y pies cuando está sentado y es frecuente que abandone su asiento, suele ser muy energético. Además, se describen algunas dificultades motoras en escritura y cognitivas en lenguaje y lectura. Asistió a acompañamiento psicológico. En general cuenta con buena salud y no se reportan antecedentes familiares de TDAH.

El resumen de resultados de examinación se muestra a continuación:

Escala Conners para Padres y de Conducta en el Hogar

En la Escala Conners para Padres, obtuvo en su totalidad 16 puntos, lo cual concuerda con el diagnóstico de TDAH. De las seis dimensiones de la prueba Conners en el Hogar, los puntajes significativos (>70) particularmente resaltan en rasgos psicossomáticos (Tabla 8, Fig. 20)

Tabla 8. Escala Conners Padres/Hogar

Caso 3						
Conducta	Aprendizaje	Psicosomático	Impulsividad/hip	Ansiedad	Hiperactividad	Padres
50	69	77	51	50	52	16

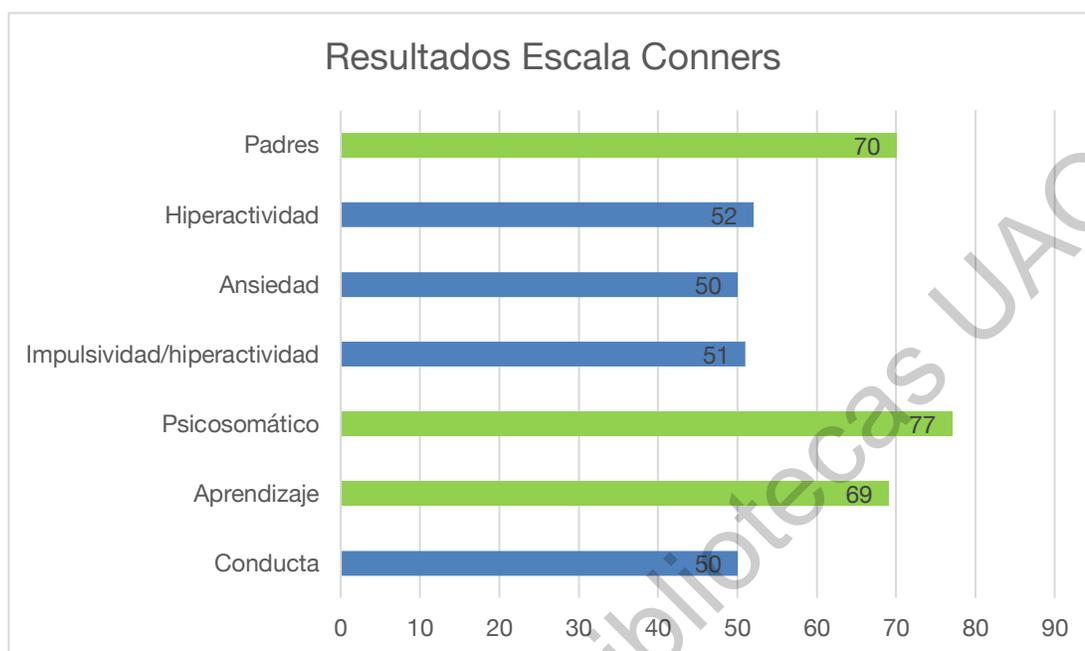


Figura 20. Gráfica de Resultados de Escala Conners del caso 3

BANETA

En el caso de BANETA, en la categoría de coordinación motora, el participante 3 se desempeñó de acuerdo con los parámetros de alternancia (movimiento de pronación-supinación de la mano), precisión y periodicidad. En la subprueba de enlentecimiento motor, los movimientos son muy lentos e irregulares, principalmente en los dedos, el participante recurre a posturas corporales para compensar el esfuerzo durante la ejecución. En *tapping* motor mantiene atención a la secuencia, conservando ritmicidad, por lo que se disminuye la velocidad de ejecución (Tabla 9, Fig. 21).

Caso 3							
Coordinación motora					Enlentecimiento motor		Tapping
Periodicidad	Alternancia	Precisión	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda	Tapping
100	100	100	100	100	10	10	60

Tabla 9. Resultados de BANETA en percentiles.

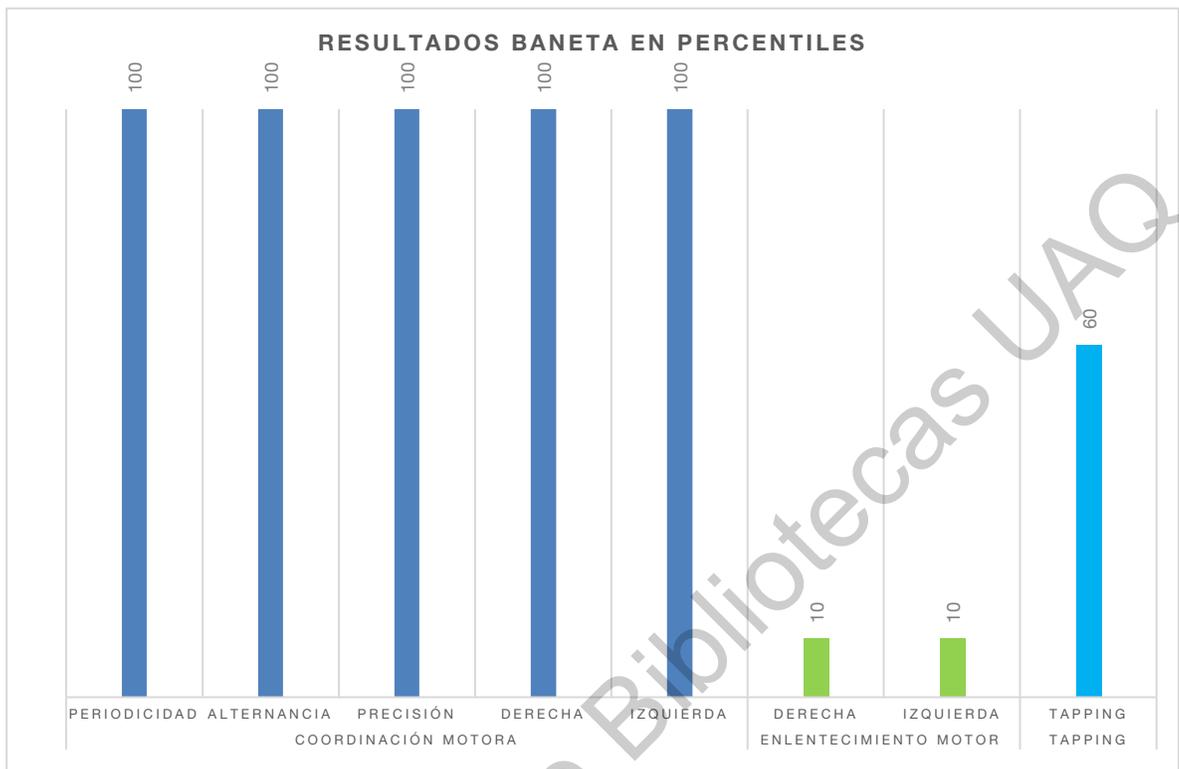


Figura 21. Gráfica de Resultados de BANETA del caso 3.

ritmoV

En la gráfica circular se representan los datos obtenidos de ritmoV, se pueden observar tres elementos, el patrón de referencia (rojo), las respuestas del ensayo 1 (azul) y las respuestas del ensayo 2 (verde). El participante 3 tiene respuestas que difieren entre ambos ensayos, en la gráfica puede observarse que en el primer intento, el participante obtiene mejores resultados mayormente notorios en la pista 1, con una varianza interna de cada pista, como sigue: pista 1=4.882, pista 2=0.781 y pista 3=3.125, siendo la pista 2 la que presenta menor variación en la ejecución de un ejercicio a otro. Considerando que los criterios establecidos en ritmoV buscan evaluar la comprensión de las secuencias rítmicas en función de sucesión y duración, el participante 3 logró sincronizar su respuesta en los primeros eventos de cada pista, es decir, mantuvo el tiempo presionado y sin presionar, y utilizó la tecla correcta, sin embargo, en el resto de los eventos (con excepción de la pista 1

del primer ensayo) presenta dificultad para seguir el ritmo con la respuesta motora, siendo evidente que tuvo dificultad para sincronizar el movimiento al estímulo con resultados que distan del patrón como se observa en el gráfico (Fig. 22).

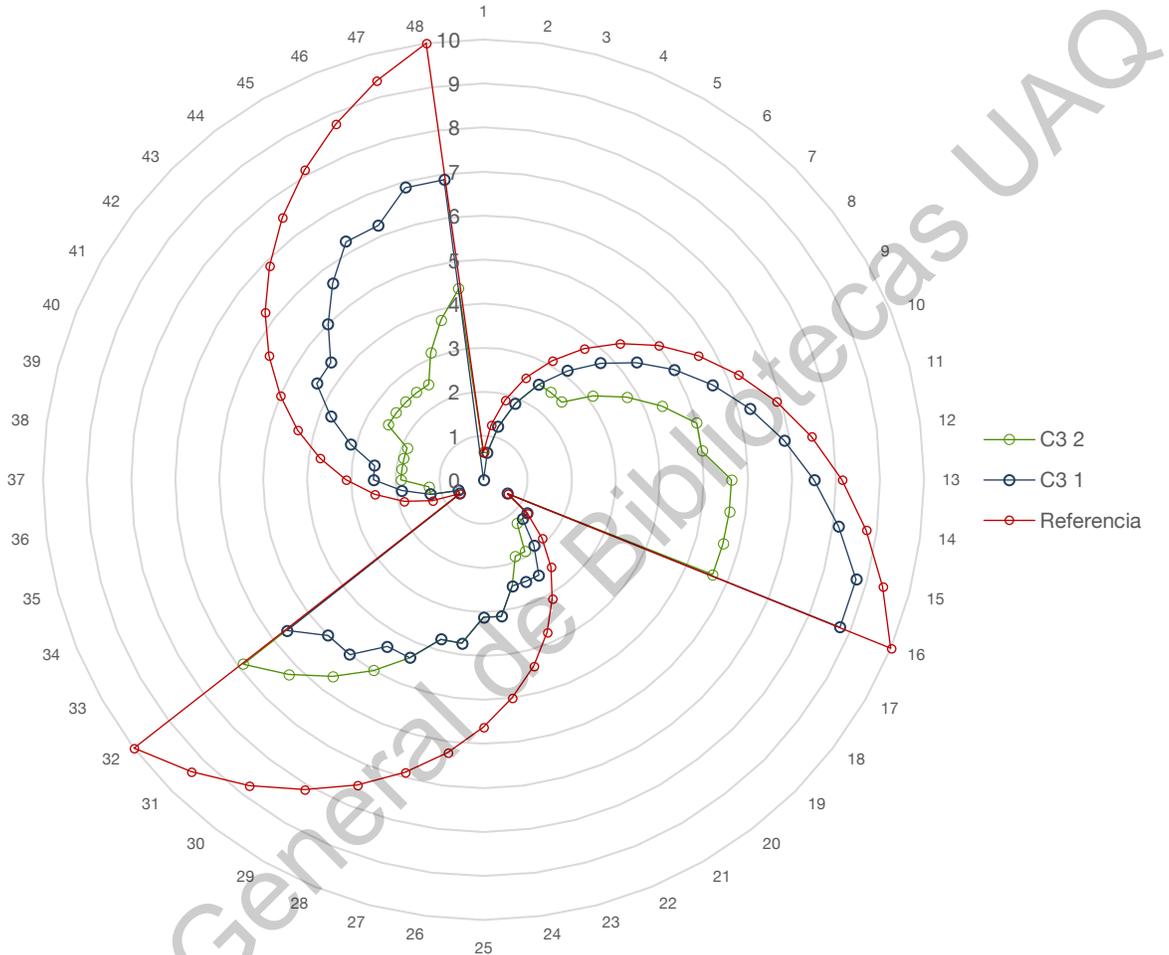


Figura 22. Gráfico radial de tiempo de respuesta motora del caso 3.

Respecto a los elementos para representar la variación de la respuesta motora a los intervalos regulares temporales, se consideró utilizar los parámetros de tiempo presionado y sin presionar de la ejecución (Fig. 23).

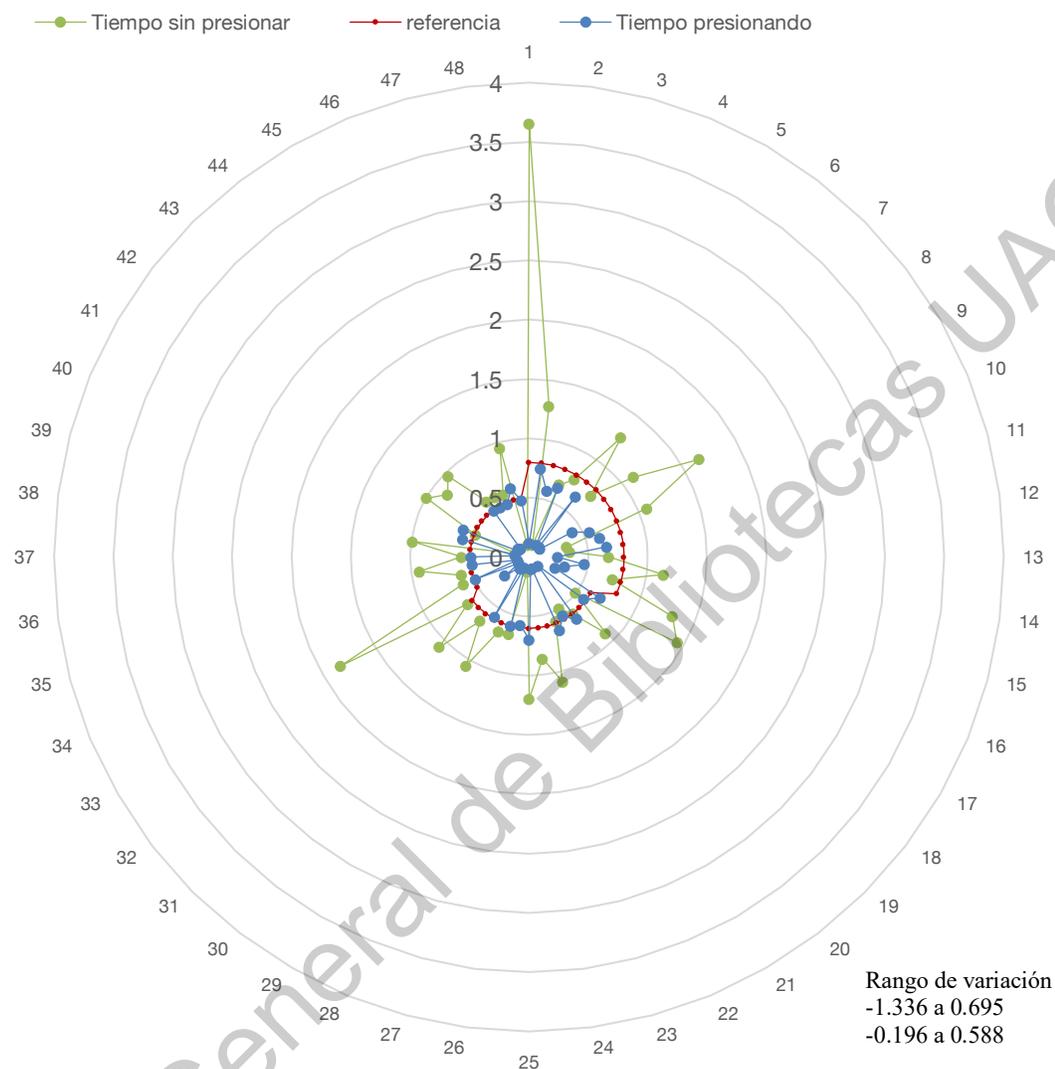


Figura 23. Gráfico radial de tiempo de respuesta motora del caso 3.

Caso 4

Es un niño de 8 años, estudiante de segundo de primaria en una escuela pública. Diagnosticado con TDAH/H-I a los 6 años y se prescribió tratamiento farmacológico con Ritalin, en una dosis inicial de 10mg (5mg en la mañana y 5mg antes de dormir). Continúa el tratamiento farmacológico de Ritalin 30 mg, dosis única antes de dormir.

Manifiesta dificultades para prestar atención cuando se le habla directamente, para organizarse en tareas y actividades, y suele ser descuidado. Le es difícil seguir instrucciones, mantenerse enfocado en aquellas tareas que requieren esfuerzo mental sostenido e ignorar estímulos irrelevantes. Tiene complicaciones para dedicarse a actividades de forma tranquila y es común que interrumpa las actividades de otros. Con frecuencia muestra una actitud dinámica, abandona su asiento cuando requiere estar sentado o le cuesta mucho trabajo tomarlo, se precipita a responder y no logra esperar. No suele prestar atención a los detalles.

No se reportan complicaciones externas a la patología. En general cuenta con buena salud y no se describen antecedentes familiares asociados al TDAH.

El resumen de resultados de examinación se muestra a continuación:

Escala Conners para Padres y de Conducta en el Hogar

En la Escala Conners para Padres, obtuvo en su totalidad 21 puntos, lo cual concuerda con el diagnóstico de TDAH. De las seis dimensiones de la prueba Conners en el Hogar, los puntajes significativos (>70) particularmente resaltan en aprendizaje, impulsividad/hiperactividad y conducta (Tabla 10, Fig. 24).

Tabla 10. Escala Conners Padres/Hogar.

Caso 4						
Conducta	Aprendizaje	Psicosomático	Impulsividad/hiperactividad	Ansiedad	Hiperactividad	Padres
88	97	66	80	65	63	21

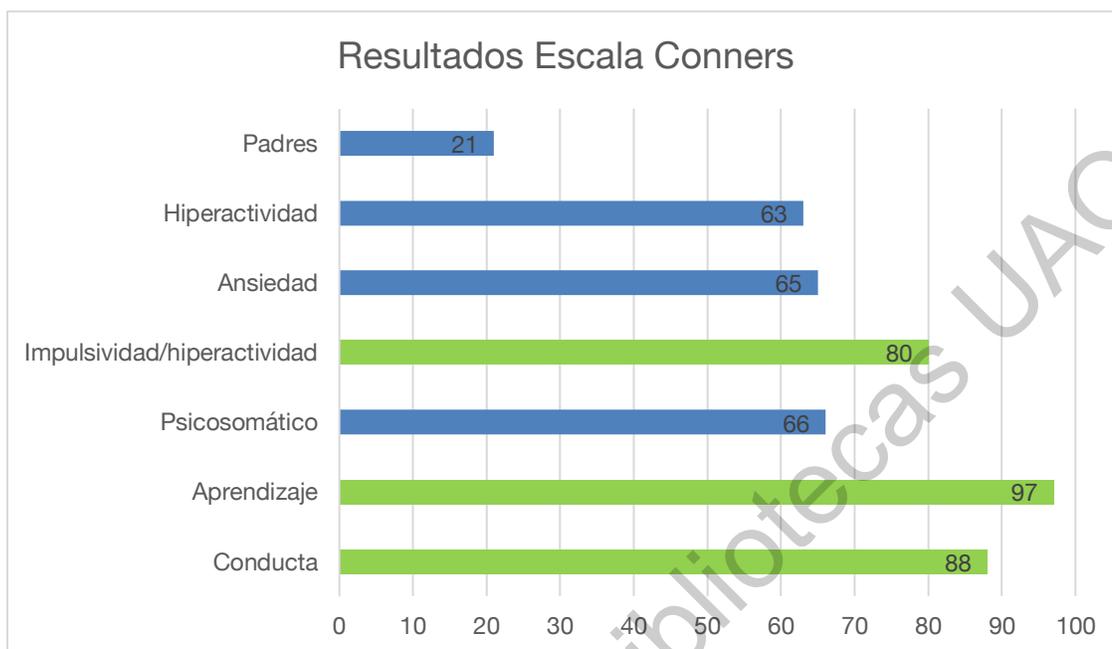


Figura 24. Gráfica de Resultados de Escala Conners del caso 4.

BANETA

En el caso de BANETA, la sub-prueba de coordinación motora, el participante ejecuta con mayor dificultad dentro de los parámetros de alternancia (pronación-supinación), periodicidad y precisión con mano izquierda que con derecha. En la categoría de enlentecimiento motor, los resultados tienen puntajes bajos, indicando que hay dificultad para ejecutar con velocidad y el movimiento es un tanto irregular. Por último, en *tapping* motor, el participante realiza repeticiones y cambios al patrón solicitado y no mantiene un ritmo constante (Tabla 11, Fig. 25).

Tabla 11. Resultados de BANETA en percentiles.

Caso 4							
Coordinación motora				Enlentecimiento motor		Tapping	
Periodicidad	Alternancia	Precisión	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda	Alternado bimanual
40	50	30	60	30	50	40	50

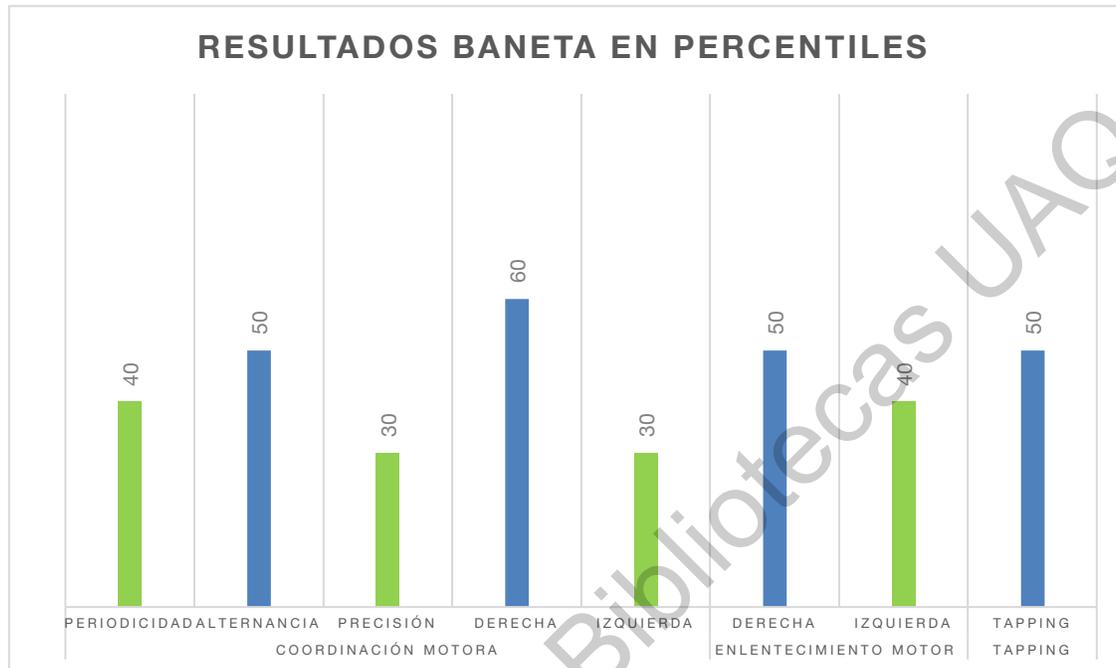


Figura 25. Gráfica de Resultados de BANETA del caso 4.

ritmoV

En la gráfica circular se representan los datos obtenidos de ritmoV, se pueden observar tres elementos, el patrón de referencia (rojo), las respuestas del ensayo 1 (azul) y las respuestas del ensayo 2 (verde). El participante 4 tiene respuestas que difieren entre ambos ensayos ya que puede observarse un incremento en puntaje en el segundo intento, con una varianza interna de cada pista, como sigue: pista 1=0.195, pista 2=0.195 y pista 3=0.195. Considerando que los criterios establecidos en ritmoV buscan evaluar la comprensión de las secuencias rítmicas en función de sucesión y duración, el participante 4 logró sincronizar su respuesta en los primeros eventos de cada pista, es decir, mantuvo el tiempo presionado y sin presionar y utilizó la tecla correcta, sin embargo, en el resto de los eventos presenta dificultad para seguir el ritmo con la respuesta motora, siendo evidente la dificultad para sincronizar el movimiento al estímulo con resultados que distan del patrón como se observa en el gráfico (Fig. 26).

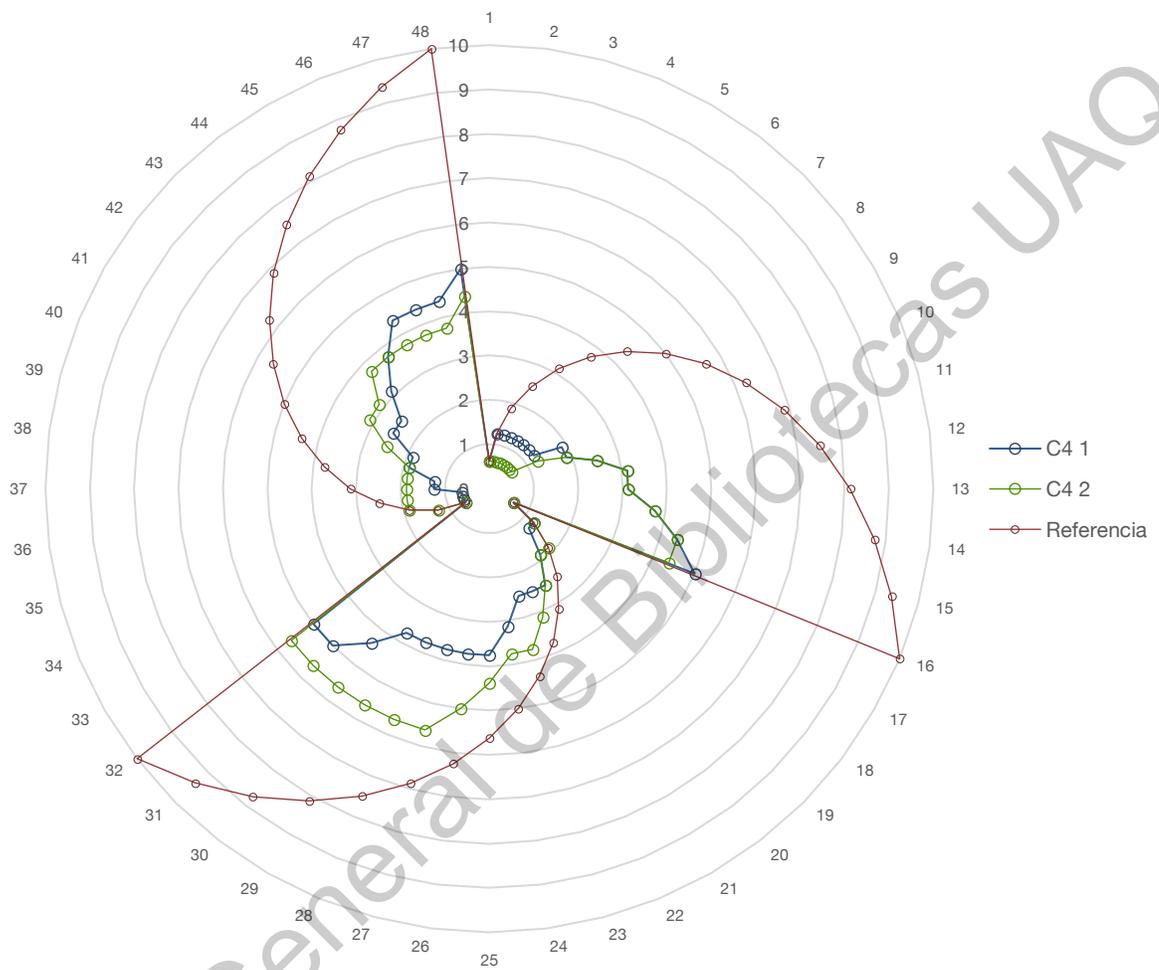


Figura 26. Gráfico radial de sincronización motora del caso 4.

Respecto a los elementos para representar la variación de la respuesta motora a los intervalos regulares temporales, se consideró utilizar los parámetros de tiempo presionado y sin presionar de la ejecución (Fig. 27).

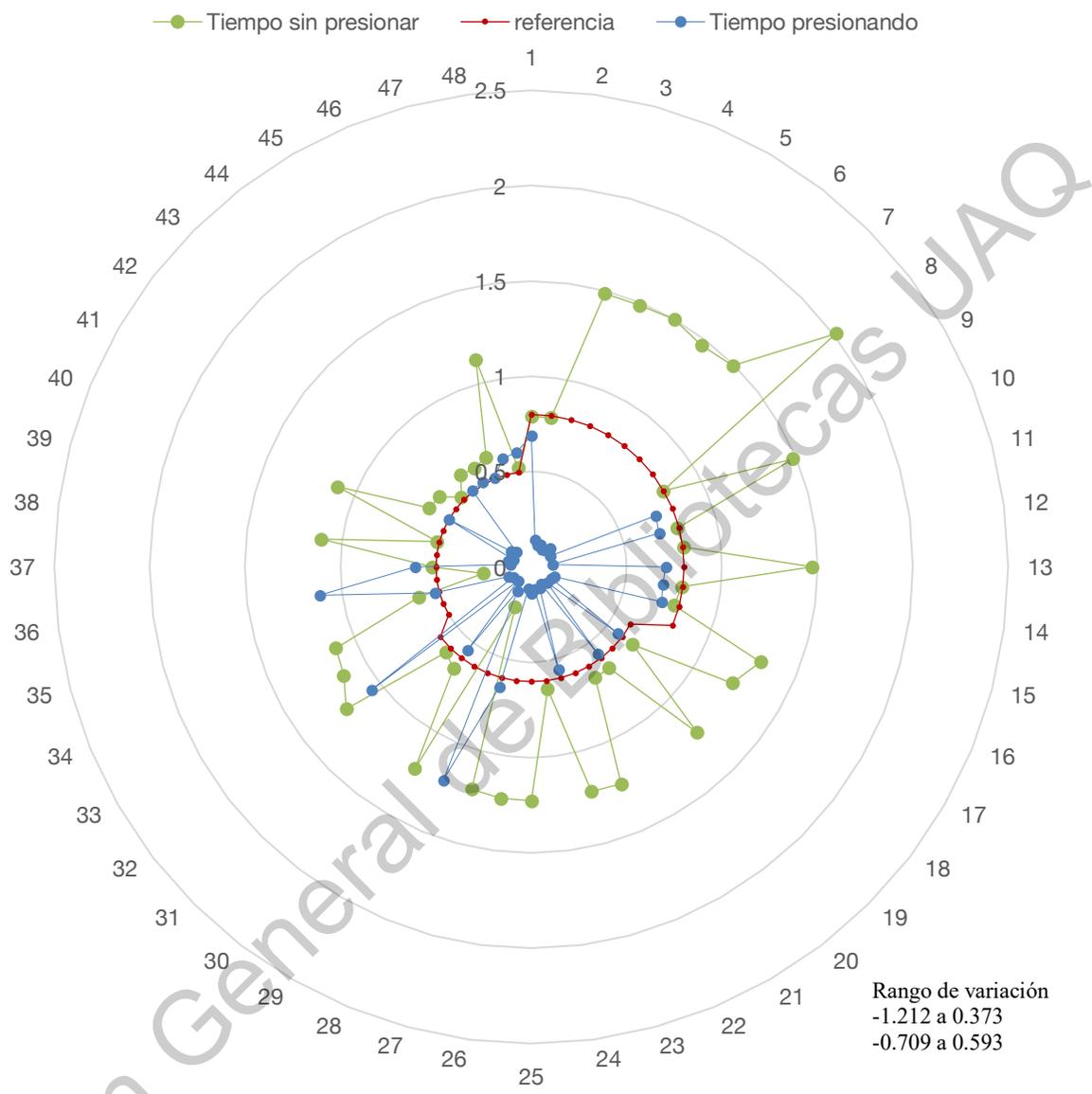


Figura 27. Gráfico radial de tiempo de respuesta motora del caso 4.

Caso 5

Es un niño de 9 años, estudiante de cuarto de primaria en una escuela privada con pedagogía Montessori. Fue diagnosticado con TDAH/C desde los 6 años y el tratamiento farmacológico es Tradea LP (MFD) 27 mg al día desde hace un mes.

Actualmente, manifiesta dificultades importantes para prestar atención a detalles, cuando se le habla directamente y durante la realización de tareas. Tiene complicaciones en el control emocional (pasa del enojo a la tristeza de forma abrupta), para organizarse en actividades y es común que estímulos irrelevantes lo distraigan fácilmente. Presenta movimiento excesivo del cuerpo al tener que permanecer sentado. Se precipita a responder y habla en exceso. Además, el participante cursa con dificultades motoras que se describen como: motricidad fina deficiente, que es evidente en su escritura ilegible, manipulación de objetos pequeños como no lograr atarse las agujetas de los zapatos, tosquedad en general y poca modulación del movimiento y la fuerza. Sobre la motricidad gruesa, las dificultades se observan en movimientos torpes en los deportes. Durante su desarrollo presentó, complicaciones que impidieron el gateo y la marcha, así como sonambulismo y dificultades para establecer contacto visual. Extrajeron amígdalas y adenoides a los 5 años por problemas de ronquido.

El fármaco inicial fue Vivance, el cual se suspendió porque se presentaron cambios de estados de ánimo abruptos y disminución del apetito.

La familia asiste a terapia familiar con el propósito de apoyar en el manejo de los síntomas de TDAH en casa. No se reporta historia familiar de TDAH.

El resumen de resultados de examinación se muestra a continuación:

Escala Conners para Padres y de Conducta en el Hogar

En la Escala Conners para Padres, obtuvo en su totalidad 22 puntos, lo cual concuerda con el diagnóstico de TDAH. De las seis dimensiones de la prueba Conners en el Hogar, los puntajes significativos (>70) particularmente resaltan en conducta, rasgos psicossomáticos, ansiedad y aprendizaje (Tabla 12, Fig. 28).

Tabla 12. Escala Conners Padres/Hogar.

Caso 5						
Conducta	Aprendizaje	Psicosomático	Impulsividad/hip	Ansiedad	Hiperactividad	Padres
85	76	82	60	78	54	85



Figura 28. Gráfica de Resultados de Escala Conners del caso 5.

BANETA

En el caso de BANETA, en la categoría de coordinación motora, el participante se desempeñó de acuerdo con los parámetros en alternancia, no así en periodicidad y precisión en donde muestra dificultades para mantener un pulso constante y dificultad para orientar el movimiento hacia el *target* más notorio en mano izquierda. En la sub-prueba de enlentecimiento motor obtuvo puntajes bajos, que indican que su ejecución carece de velocidad, sobre todo debido en la tarea de pinza en donde toca repetidamente los dedos. En *tapping* motor se observan dificultades para alternar el *tap* en el patrón indicado, y ritmo (Tabla 13, Fig. 29).

Tabla 13. Resultados de BANETA en percentiles.

Caso 5							
Coordinación motora				Enlentecimiento motor		Tapping	
Periodicidad	Alternancia	Precisión	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda	Tapping
30	100	10	50	20	20	20	40

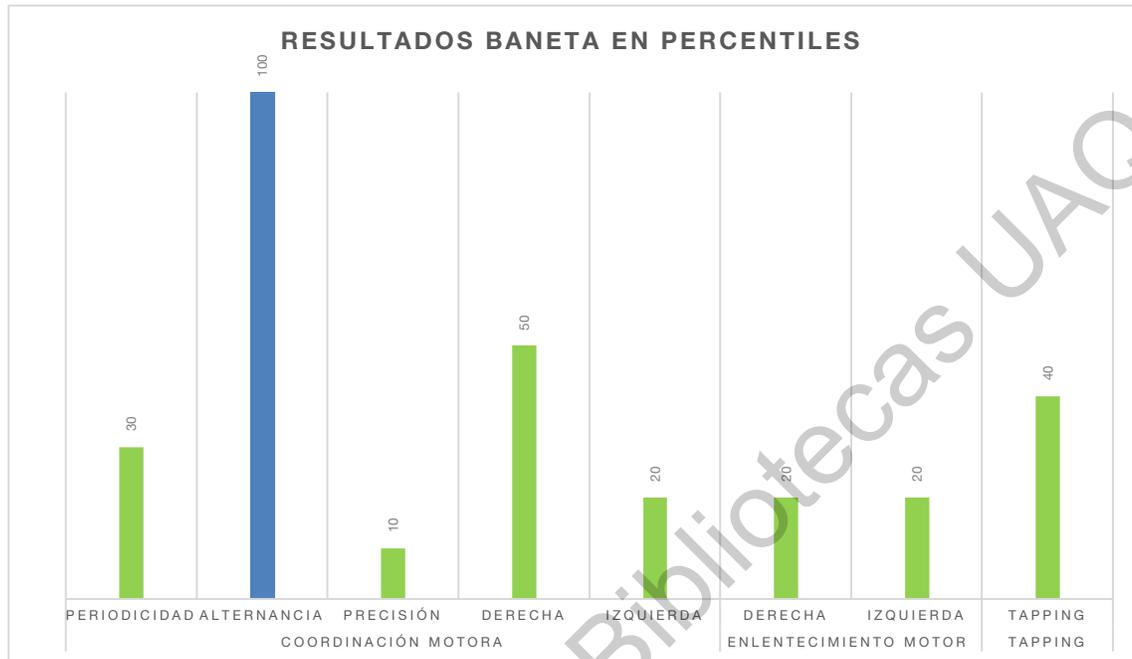


Figura 29. Gráfica de Resultados de BANETA del caso 5.

ritmoV

En la gráfica circular se representan los datos obtenidos de ritmoV, se pueden observar tres elementos, el patrón de referencia (rojo), las respuestas del ensayo 1 (azul) y las respuestas del ensayo 2 (verde). El participante 5 tiene respuestas que difieren entre ambos ensayos, puede observarse mejor puntaje en el primer intento, con una varianza interna de cada pista, como sigue: pista 1=0.195, pista 2=7.031 y pista 3=0.781. Considerando que los criterios establecidos en ritmoV buscan evaluar la comprensión de las secuencias rítmicas en función de sucesión y duración, el participante 5 logró sincronizar su respuesta en los primeros eventos de la pista 2 en el primer ensayo, es decir, mantuvo el tiempo presionado y sin presionar, y utilizó la tecla correcta, sin embargo, en el resto de los eventos presenta dificultad para seguir el ritmo con la respuesta motora, aunque en la pista 2 del primer intento mantiene un patrón similar al de referencia, es evidente la dificultad para sincronizar el movimiento al estímulo con resultados que distan del patrón como se observa en el gráfico (Fig. 30).

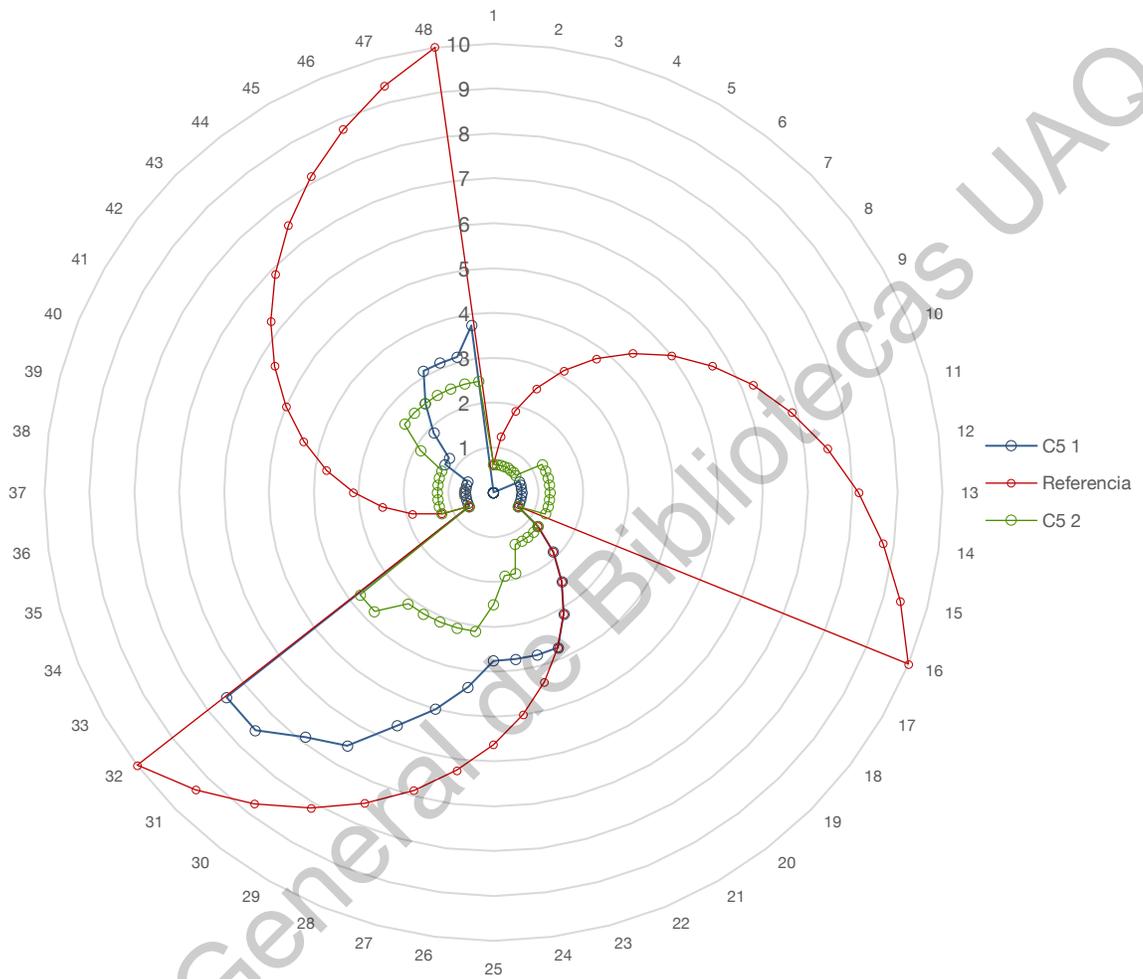


Figura 30. Gráfico radial de sincronización motora del caso 5.

Respecto a los elementos para representar la variación de la respuesta motora a los intervalos regulares temporales, se consideró utilizar los parámetros de tiempo presionado y sin presionar de la ejecución (Fig. 31).

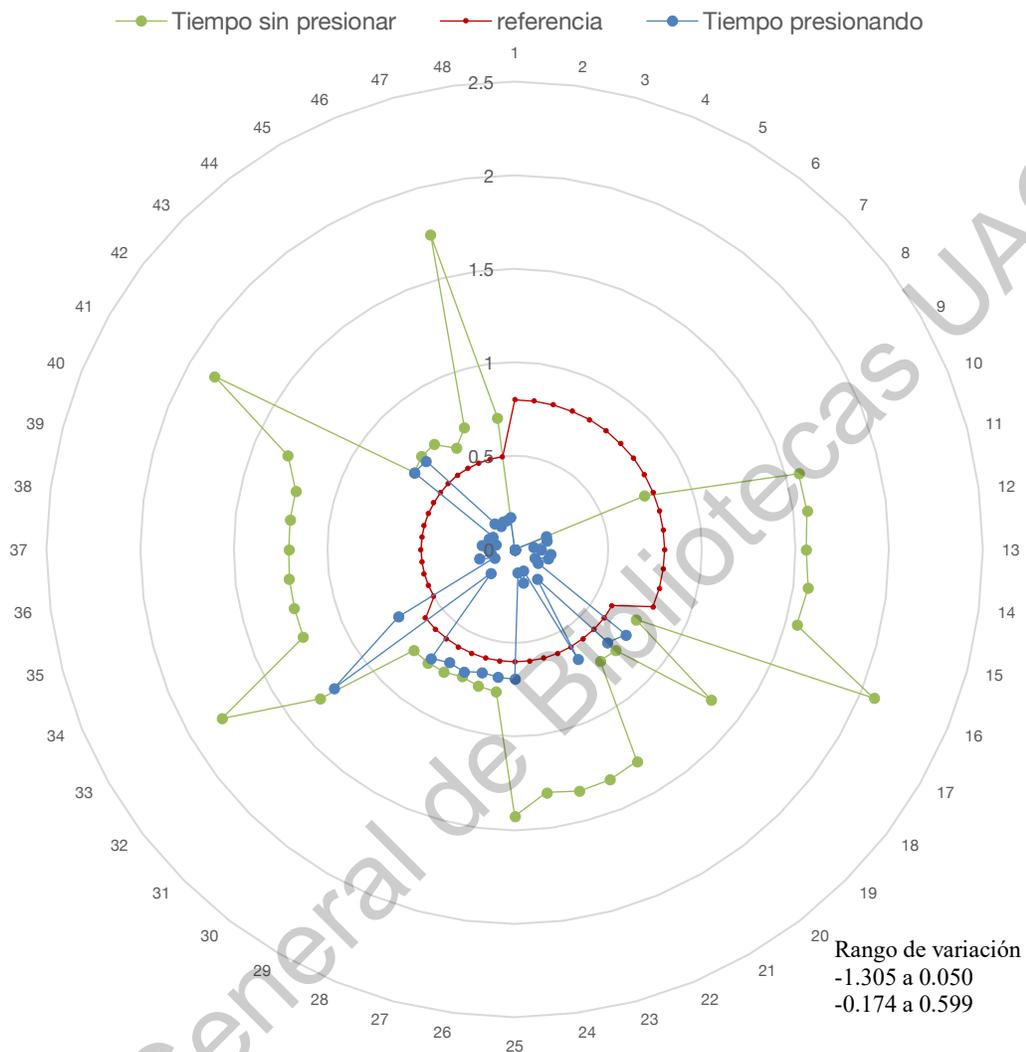


Figura 31. Gráfico radial de tiempo de respuesta motora del caso 5.

El comportamiento de la respuesta motora de los participantes ante los estímulos auditivos y visuales no consigue una sincronización dentro de los parámetros de la prueba, es decir, en los rangos de error, requisito de la tecla y criterios de tiempo presionado y sin presionar asociados al puntaje de cada uno de los eventos de la secuencia rítmica no se cumplen en su totalidad, por lo que no obtienen el puntaje total de cada pista. La distribución de los datos sugiere que

algunos de los participantes identifican la secuencia incrementando sus puntajes a lo largo de los eventos.

A continuación, se presenta una tabla de resumen de las evaluaciones por participante:

Tabla de resultados

Caso #	Edad (en años)	Tipo de TDAH	Medicamento dosis/mg	Escala Connors para Padres	P	BANETA					ritmoV		
						A	Pr	EMD	EMI	T	Pista 1	Pista 2	Pista 3
1	7	C	MFD	70	100	100	100	10	10	60	7.5	6.25	6.875
2	8	C	-	74	100	100	100	20	20	70	8.125	4.375	3.75
3	8	I	-	85	30	100	10	20	20	40	8.75	5.625	6.875
4	8	H-I	Ritalin, 30mg	70	10	100	40	30	30	70	5	5	5
5	9	C	Tradea, 27mg	81	40	50	30	50	40	50	0.625	7.5	3.75

Subtipo de TDAH: C= combinado, H-I= hiperactivo/impulsivo, I= Inatento
 BANETA, Batería Neuropsicológica para la Evaluación de los Trastornos del Aprendizaje; P= periodicidad, A= alternancia, Pr= precisión, EMD= enlentecimiento motor derecha, EMI= enlentecimiento motor izquierda, T= tapping.

IX. DISCUSIÓN

Los estudios de la percepción del tiempo, fundamentalmente se dividen en dos: los cognitivos y los psicofísicos, los primeros proponen tareas conductuales y los segundos modelos matemáticos, ambos con la finalidad de evaluar sincronización sensoriomotora (SMS, por sus siglas en inglés) para explicar las manifestaciones de la conducta y la percepción temporal que subyace a ella. De estos trabajos de SMS los modelos más relevantes para la patología de TDAH son aquellos que se originan en *timing*, paradigma que se desprende del análisis conductual de las respuestas motoras y el diseño matemático para interpretarlas, es decir, está presente tanto en los modelos cognitivos como psicofísicos (Fraisse, 1984; Wing & Kristoffersen, 1974). En los antecedentes se describieron los trabajos de Rubia et al., (1999), Ben-Pazi et al., (2003), Tiffin-Richards et al., (2004) y la revisión de Noreika et al., (2012), investigaciones que retoman el paradigma de *timing* motor para el TDAH, de esta descripción surgen las siguientes interrogantes:

1. ¿Las tareas que presentan estos modelos conservan los fundamentos de lo que es el ritmo?

2. ¿El análisis de los resultados que presentan las evaluaciones de *timing* en TDAH contiene los elementos necesarios para interpretar que hubo sincronización?
3. ¿Los modelos de evaluación de *timing* en TDAH establecen un criterio de validación de su constructo, es decir, de *timing* motor?
4. ¿Muestran un parámetro de error que reporta las fases de sincronización al evento y no sólo un promedio de este? Y ¿dicho error es significativo para describir la conducta de sincronización?
5. ¿Las inferencias que realizan a partir de los resultados van acorde al diseño experimental, a las respuestas de los sujetos y al constructo?

Recordando que el ritmo es una cadencia que depende de la mutua interacción de los eventos, así como de los silencios o intervalos entre un suceso y otro que preceden y suceden en un lapso de tiempo, podemos decir que estos trabajos no conservan los fundamentos del ritmo. ¿Cómo es que se llega a esta inferencia? Nota que la interpretación de los paradigmas propuestos por Fraisse (1984) y Wing & Kristoffersen (1974) que describen duración y sucesión temporal, utilizados para evaluar sincronización del movimiento, fraccionan en demasía los elementos para su análisis, más aún cuando retoman los datos obtenidos de la ejecución como una medida estándar para describir la conducta del participante. Lo anterior que da como resultado un esquema que más que hablar de la respuesta del sujeto comparada con el estímulo rítmico, reporta la respuesta en forma de comprobación de una hipótesis a partir del constructo previamente aceptado. Es decir, si desde la tarea basada en *timing* motor no se observa la mutua interacción entre los elementos y sus implicaciones en el análisis interdependiente cuando es ejecutada por un sujeto, se pierde la noción de ritmo y cuando se reportan los resultados del sujeto considerando aspectos como la asincronía por evento, el intervalo inter-respuesta (*IRI*, por sus siglas en inglés) se pierde la complejidad de la ejecución del sujeto, y lo que reportan son medidas estadísticas como varianza, desviación estándar,

promedios, etc. que no representan el constructo base, con lo que inferimos que no solo es suficiente construir un esquema rítmico, sino también plantear una adecuada valoración.

A modo de ejemplo, se reprodujo la tarea de ritmo propuesta por Tiffin-Richards et al., (2004) en el software de audio *GarageBand* y se observó que, aunque categorizan por niveles de dificultad, el más sencillo de sus ritmos es complejo, incluso para alguien entrenado en música. En la tarea analiza como único factor la asincronía negativa, lo que nos lleva a pensar que considerar solamente esta variable cuyo registro pondera el adelantarse puede sesgar los resultados, con ello la importancia de medir la secuencia completa de estímulos y silencios, de tal forma que no limite la conclusión a decir que se adelantan. Desde el punto de vista de Wing & Kristoffersen (1974) lo que se observa es que pueden suceder tres posibilidades: adelantarse, atrasarse o sincronizarse porque el sujeto calcula el intervalo en función de la respuesta anterior, ajustando su respuesta en cada uno de los eventos (Vorberg en Macar, Pouthas & Friedman, 1992).

En años recientes, se han propuesto modelos diferentes al paradigma de *timing* para evaluar la sincronización, tal es el caso del Neurodinámico (Large, Herrera & Velasco, 2015) en donde se analiza la SMS en función de un patrón rítmico que no aísla los eventos ni su interdependencia, lo mantiene la congruencia entre su tarea y la evaluación de la misma. Si bien no consideramos que sea necesario estandarizar un tipo de prueba para *timing* motor, si sugerimos que se estructuren las tareas incluyendo un error general, un análisis estadístico radial y un constructo que mantenga los elementos del ritmo para entonces poder hacer inferencias sobre la percepción del tiempo, la integración de la sucesión, así como la participación del control motor y ejecutivo presentes en la valoración del sujeto.

El software ritmoV, incorpora un esquema de ritmo y algunos elementos del modelo atencional de Posner (2012) como la orientación y el *target*, con la intención general de apoyar en la representación motora. A partir de los resultados de la

aplicación de ritmoV, se observa que la participación del control ejecutivo es relevante para organizar múltiples elementos junto con la respuesta motora durante una tarea. La atención tiene una evidente participación en tareas cognitivas pero igualmente en tareas relacionadas a la ejecución motora (Mokobane, Pillay & Meyer, 2019). La atención representa el mecanismo de acceso a la información, y es requerida para detectar el estímulo auditivo y visual, esto de acuerdo con la red de orientación del modelo de Posner (2012). En el modelo atencional de Posner (2012) aplicado a niños con TDAH, se encontró que estos tenían dificultad en la red de control ejecutivo y de alerta, no así en la red de orientación, por lo tanto, se puede inferir que los participantes pueden localizar el estímulo, sin embargo, tienen dificultades en la supervisión y planeación, habilidades de la red ejecutiva, que permiten relacionarse con las fallas motoras al requerir una respuesta organizada. RitmoV presenta elementos compuestos que sugieren la participación de habilidades de control y planeación motora, destrezas afectadas en la patología.

La dificultad en el control motor en los casos es observable debido a los resultados en las tareas de BANETA, particularmente en la de *enlentecimiento motor*, cuyos resultados están por debajo del percentil 40, ya que la ejecución exige precisión para activar el movimiento de un dedo mientras inhibe el del resto de los dedos. Los problemas motores asociados a la patología están vinculados a problemas de planeación y control de la respuesta del movimiento, la velocidad, así como habilidades finas de la motricidad que, de acuerdo con la bibliografía, se asocia al déficit atencional (Kaiser et al., 2014; Mokobane, Pillay & Meyer, 2019). La tarea rítmico-motora sugiere relacionar estos elementos deficientes tanto en el área motora como atencional pues se requiere de la supervisión, planeación y velocidad de movimiento para la ejecución, capacidades afectadas en los pacientes con TDAH.

Aunque hay evidencia que relaciona al TDAH con problemas en la motricidad, se requiere de caracterización, por un lado, de las fallas motoras y por otro, de los instrumentos de evaluación utilizados, además de integrarlas como parte del

diagnóstico e intervención de la patología (Mokobane, Pillay & Meyer, 2019), a fin de definir las fallas motoras sutiles que presenta la patología y diferenciar de la propuesta de Gilbert (1970) que vinculan al TDAH con TDC. Las cifras que presentan revisiones de la probable prevalencia del TDC en el TDAH como la de Kaiser et al., 2015 señalan porcentajes extraídos del percentil 5 y 15 que son posteriormente generalizados a la epidemiología del trastorno, sin embargo, no son precisos porque no representan el total de la muestra. Además, los síntomas del TDC se presentan como un problema motor en donde se comprometen funciones motoras gruesas y finas cuya especificidad radica en la dificultad para organizar el movimiento dificultado la marcha, habilidades de la vida diaria como comer, vestirse o hacer deportes. Consideramos que en el TDAH hay un elemento importante en la ejecución motora, pero que este, en la mayoría de los casos se debe a la complicación de controlar el movimiento más que a dificultades en el desarrollo de la coordinación y a las complicaciones en el control ejecutivo.

X. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se propone que el TDAH cursa con dificultades relacionadas al control motor y ejecutivo, complementario a lo que plantea el DSM-5, que señala que es una patología del neurodesarrollo predominantemente cognitiva. Pese a mencionar que pueden cursar con retrasos motores sutiles, se sugiere que no son debidos a trastornos motores como el de Desarrollo de la Coordinación (TCD) que no suelen ser incluidos como criterios diagnósticos ni diferenciales.

Es posible que las funciones dopaminérgicas tengan asociación en los dominios de control ejecutivo, motor y de impulsos. En el caso del control motor, la dopamina ejerce su efecto en la vía nigroestriatal, participando como moduladora de la inhibición o activación de un grupo muscular para ejecutar movimiento. En cuanto al control de impulsos, la dopamina se involucra en la vía mesolímbica como inhibidora de las respuestas emocionales. Por último, en el control ejecutivo, la

dopamina actúa en la vía mesocortical en interacción con noradrenalina, modulando la coordinación de procesos atencionales. Por lo anterior, se puede sugerir que la desregulación dopaminérgica produce alteraciones químicas que afectan el control de funciones motoras y cognitivas.

Una forma de explicar la relación entre lo motor y las funciones cognitivas es mediante la estructura del funcionamiento de la SMS, ya que supone un proceso que se retroalimenta. La aferencia (o entrada) del sistema sensorial acciona los procesos de percepción del estímulo, que se traducen en procesos de decisión, los cuales integran la información y se evidencian mediante una respuesta de movimiento. En el caso del TDAH la integración y el movimiento se sugiere que están comprometidos por las dificultades en el control ejecutivo y por las deficiencias en el control del sistema motor.

Los resultados en los casos, sugiere que presentan problemas de control ejecutivo, observables por la dificultad para integrar todos los elementos que *ritmoV* requiere, así como para coordinar los criterios que considera cada pista (tecla correcta, tiempo presionado y sin presionar). Además, en *ritmoV*, las variaciones del tiempo presionado y sin presionar estaban vinculadas a la imprecisión de las respuestas motoras. También, se observó que el control motor parece comprometido por la dificultad de inhibir o activar el movimiento en una tarea motora, como en el caso de enlentecimiento motor del BANETA, cuya dificultad radicaba en la precisión que la ejecución requerida.

Derivado de la revisión de trabajos sobre *timing* motor en niños con TDAH, podemos considerar que es necesaria una caracterización de las tareas a fin de mantener la congruencia entre el constructo, la evaluación y el reporte de resultados. Entre las características a tomar en cuenta estarían las siguientes: 1) incluir un grado de error interno en la prueba; 2) el rango de error debiera considerar el ajuste con la ejecución del participantes, es decir, que se aplique en la cadena de estímulos y no sólo en sus elementos como unidades aisladas, esto permitiría

mantener nociones como el ritmo y; 3) el reporte de resultados debe considerar la representación de los eventos temporales así como su secuencia, por ejemplo los gráficos radiales.

Perspectivas futuras.

1. Aplicar la prueba *ritmoV* a una muestra representativa de casos con TDAH y controles
2. A partir de las revisiones que se hicieron sobre la función de la dopamina en la patología, realizar un artículo de revisión específico de su vinculación con el TDAH en términos de control ejecutivo y motor
3. Profundizar en la participación de *ritmoV* en el control ejecutivo y motor durante la ejecución
4. Utilizar el modelo *ritmoV* en otras patologías que incluyan alguna dificultad motora
5. Seguir indagando en la evidencia de cómo participa la motricidad en la habilitación cognitiva

XI. REFERENCIAS

Alamos, F., Montenegro, E., España, A. Y Ronquillo, K. (2018). Diagnóstico por imágenes de hipertermia placentaria y su incidencia en el sufrimiento fetal. *Revista Científica de Investigación actualización del mundo de las Ciencias*. Vol. 3 no, 3, julio, ISSN:2588-0748, 2018, pp. 626-650. Doi: 10.26820/reciamuc/3.(3).julio.2019.626-650.

Allan, L.G. The perception of time. *Perception & Psychophysics* **26**, 340–354 (1979). <https://doi.org/10.3758/BF03204158>.

Amador, J.A., Idiázabal, M^a Á, Sangorrín, J. Espadaler, J.M., Forns, M. (2002). Utilidad de las escalas de Conners para discriminar entre sujetos con y sin trastorno por déficit de atención con hiperactividad. *Psicothema*, 14(2): 350-356.

- American Psychiatric Association (APA). (2014). Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales. 5.^a Edición. (DSM-5). Ed Panamericana. ISBN: 978-84-9835-810-0
- Barry, R., Clarke, A. y Johnstone, S. (2003). A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: I. Qualitative and quantitative electroencephalography. Elsevier. doi. 10.1016/S1388-2457(02)00362-0.
- Bauer, A., Jaeger, M., Thorne, J., Nendixen, A. Y Debener, S. (2015). The auditory dynamic attending theory revisited: A closer look to the itch comparison task. Elsevier. Brain Research. Volume 1626, 11 November 2015, pages 198-210. Dos.org/10.1016/j.brainres.2015.04.032.
- Ben-Pazi, H., Gross-Tsur, V., Bergman, H., & Shalev, R. S. (2003). Abnormal rhythmic motor response in children with attention-deficit-hyperactivity disorder. *Developmental medicine and child neurology*, 45(11), 743–745. <https://doi.org/10.1017/s0012162203001385>.
- Block, R. A., & Grondin, S. (2014). Timing and time perception: A selective review and commentary on recent reviews. *Frontiers in psychology*, 5, 648. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00648>.
- Boletín UNAM-DGCS-867. (2017). Ostrosky, F. El Trastorno por Déficit de Atención, Problema de Salud que Afecta el Desarrollo y Calidad de vida. Laboratorio de Neuropsicología y Psicofisiología de la Facultad de Psicología de la UNAM. https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2017_867.html.
- Burks, H. F. (1960). The Hyperkinetic Child. *Exceptional Children*, 27(1), 18–26. <https://doi.org/10.1177/001440296002700105>.
- Carillo, G. Y Castaño, F. (1979). Temas de cultura musical. Ed. Trillas S.A. de C.V. 8va edición. ISBN 968-24-0047-3.
- Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud. (s.f.). *Diagnóstico y tratamiento del trastorno por déficit de atención e hiperactividad en niños y adolescentes en atención primaria y especializada*. México: CENETEC.
- Chanda, ML. y Levitin, Daniel. (2013). The neurochemistry of music. *CellPress. Trends in Cognitive Sciences* April 2013, Vol. 17, No. 14. doi: 10.1016/j.tics.2013.02.007.
- Chen, J. L., Penhune, V. B., and Zatorre, R. J. (2008a). Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain. *Cereb. Cortex* 18, 2844–2854. doi: 10.1093/cercor/bhn042.
- Chess, S. (1960). Diagnosis and treatment of the hyperactive child. *New York state journal of medicine*, 60, 2379–2385.

- Church, R. M. (2003). A concise introduction to scalar timing theory. In W. H. Meck (Ed.), *Functional and neural mechanisms of interval timing* (pp. 3–22). CRC Press/Routledge/Taylor & Francis Group. Doi: 10.1201/9780203009574.sec1
- Delgado-Mejía, I.D., Palencia-Avenidaño, M.L. Mogollón-Rincón, C., Etchepareborda, M.C. (2014). Cociente theta/beta (NEBA) en el diagnóstico del trastorno por déficit de atención/hiperactividad. *REV NEUROL* 2014;58 (Supl. 1): S57-S63. doi:10.33588/rn.58S01.2014013.
- de la Peña, F. R. & Palacio, J. D. (2018). Attention Deficit Hyperactivity Disorder in Latin America. *Salud Mental*, 41(6), 247-248. doi: 10.17711/SM.0185-3325.2018.036.
- Droit-Volet S. Time perception in children: a neurodevelopmental approach. *Neuropsychologia*. 2013 Jan;51(2):220-34. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.09.023. Epub 2012 Sep 20. PMID: 22999968.
- Fabio, Rosa & Urso, Maria. (2014). The analysis of Attention Network in ADHD, attention problems and typically developing subjects. Life span and disability. XVII. 199-221.
- Flores Lázaro, J. y Otrosky-Shejet, F. (2012). Desarrollo neuropsicologico de lobulos frontales y funciones ejecutivas. Manual Moderno.
- Fliers, E.A., Franke, B., Lambregts-Rommelse, N.N., Altink, M.E., Buschgens, C.J., Nijhuis-van der Sanden, M.W., Sergeant, J.A., Faraone, S.V. and Buitelaar, J.K. (2010), Undertreatment of Motor Problems in Children with ADHD. *Child and Adolescent Mental Health*, 15: 85-90. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3588.2009.00538.x>.
- Fraisse, P. (1984). *Annu. Rev. Psychol.* 35, 1–36. doi: 10.1146/annurev.ps.35.020184.000245.
- Gibbon, J. & Allan, L. (1984). Timing and Time Perception. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 9780897662413
- Gibbon, J., Church, R. M., & Meck, W. H. (1984). Scalar timing in memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 423, 52–77. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1984.tb23417.x>.
- Gomez, A., & Sirigu, A. (2015). Developmental coordination disorder: core sensorimotor deficits, neurobiology and etiology. *Neuropsychologia*, 79(Pt B), 272–287. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.09.032>.
- Gordon, J. (2011). Attention Deficit Hyperactivity Disorder Handbook/ A Physician's Guide to ADHD. Springer. Verlag New York. DOI 10.1007/978-1-4419-1397-5.

- Gozal, D. & Molfese, D. (2005). Attention Deficit Hyperactivity Disorder: from genes to patients. Humana Press. Doi: 10.1385/1592598919.
- 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*. 2013;70(2):185-198. Doi:10.1001/jamapsychiatry.2013.277.
- Hofstadter, D. (1979). Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid. United States. Basic Books.
- Jauset, J. (2008). Música y neurociencia: la musicoterapia. Sus fundamentos, efectos y aplicaciones terapéuticas. Ed. Carrera edición, Barcelona. ISBN 978-84-9788-762-5.
- Kadesjö, B., & Gillberg, C. (1998). Attention deficits and clumsiness in Swedish 7-year-old children. *Developmental medicine and child neurology*, 40(12), 796–804. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1998.tb12356.x>
- Károlyi, O. (1970). Introducción a la música. Ed. Alianza, Madrid. ISBN. 84-206-1607-9.
- Klein, Marianne & Sabino Battagello, Daniella & Cardoso, Ariel & Hauser, David & Bittencourt, Jackson & Correa, Ricardo. (2019). Dopamine: Functions, Signaling, and Association with Neurological Diseases. *Cellular and Molecular Neurobiology*. 10.1007/s10571-018-0632-3.
- Kratochvil, C., Vaughan, B., Harrington, M. Y Burke, W. (2003). Atomoxetine: a selective noradrenaline reuptake inhibitor for the treatment of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Expert Opinion. Expert Opin. Pharmacother*: (2003) 4(7):1165-1174.
- Lange, K., Reichl, S., Lange, K., Tucha, L. Y Tucha, O. (2010). The history of attention deficit hyperactivity disorder. *Springer. ADHD Atten Def Hyp Disord* (2010) 2:241-255. Dos 10.1007/s12402-010-0045-8.
- Large, E. and Snyder, J. (2009). Pulse and Meter as Neural Resonance. *The Neurosciences and Music III—Disorders and Plasticity: Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1169: 46–57 (2009). doi: 10.1111/j.1749-6632.2009.04550.x.
- Large, E. W., Herrera, J. A., & Velasco, M. J. (2015). Neural Networks for Beat Perception in Musical Rhythm. *Frontiers in systems neuroscience*, 9, 159. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2015.00159>
- Levitin, D. J., Grahn, J. A., & London, J. (2018). The Psychology of Music: Rhythm and Movement. *Annual Review of Psychology*, 69, 51-75.

- Lezama-Espinosa, C., & Hernandez-Montiel, H. L. (2020). Neuroscience of the auditory-motor system: How does sound interact with movement?. *Behavioural brain research*, 384, 112535. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2020.112535>.
- Liu, C., & Kaeser, P. S. (2019). Mechanisms and regulation of dopamine release. *Current opinion in neurobiology*, 57, 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2019.01.001>.
- Macar, F., Pouthas, V., & Friedman, W. J. (Eds.). (1992). *Time, action and cognition: Towards bridging the gap*. Kluwer Academic/Plenum Publishers. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-3536-0>.
- Mahone, E. M., & Denckla, M. B. (2017). Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A Historical Neuropsychological Perspective. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, 23(9-10), 916–929. <https://doi.org/10.1017/S1355617717000807>
- Mathews, M., Nigg, J. and Fair, D. (2014). Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *NIH. Curr Top Behav Neurosci*. 2014; 16/ 235–266. [doi/10.1007/7854_2013_249](https://doi.org/10.1007/7854_2013_249).
- Merchant, Hugo & De Lafuente, Victor. (2014). *Neurobiology of Interval Timing*. 10.1007/978-1-4939-1782-2.
- Mokobane, M., Pillay, B. J., & Meyer, A. (2019). Fine motor deficits and attention deficit hyperactivity disorder in primary school children. *The South African journal of psychiatry : SAJP : the journal of the Society of Psychiatrists of South Africa*, 25, 1232. <https://doi.org/10.4102/sajpsychiatry.v25i0.1232>
- Moncada, F. (1995). *Teoría de la música*. Ed. Framog. Musical Iberoamericana, México.
- Moumdjian, L., Sarkamo, T., Leone, C., Leman, M., & Feys, P. (2017). Effectiveness of music-based interventions on motricity or cognitive functioning in neurological populations: a systematic review. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 53(3), 466–482. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.16.04429-4>
- Nigg, J. and Casey, B. (2005). *An integrative theory of ADHD based on the cognitive and affective neurosciences*
- Noreika, V., Falter, Ch., y Rubia, K. (2012). Timing deficits in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD)/ Evidence from neurocognitive and neuroimaging studies. *Elsevier Neuropsychologia*. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.09.036.
- Organización Mundial de la Salud. (2019). *Clasificación Internacional de Enfermedades para las Estadísticas de Mortalidad y Morbilidad (CIE-11)*.

- Ortiz-Pérez, A y Moreno-García, I. (2015). Perfil electroencefalográfico de niños con TDAH. *Revista de Psicología Clínica con Niños y Adolescentes* Vol.2 N°. 2- Julio 2015
- Palacios-Cruz, L., de la Peña, F., Valderrama, A. Ulloa, R. (2011). Conocimientos, creencias y actitudes en padres mexicanos acerca del trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH).
- Posner, M. (2012). *Cognitive Neuroscience of Attention*. The Guilford Press. ISBN 978-1-60918-985-3.
- Portellano, J. y García, J. (2014). *Neuropsicología de la atención, las funciones ejecutivas y la memoria*. Ed. Síntesis, España.
- Prince J. (2008). Catecholamine dysfunction in attention-deficit/hyperactivity disorder: an update. *Journal of clinical psychopharmacology*, 28(3 Suppl 2), S39–S45. <https://doi.org/10.1097/JCP.0b013e318174f92a>
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A.-S., Mooney, R. D., . . . White, L. E. (2018). *Neuroscience* (Vol. Sixth Edition). New York, United States of America: Oxford University Press.
- Riess, M. (2018) *Time will tell: a Theory of Dynamic Attending*. Oxford University Press.
- Riess, M., Fay, R. & Popper, A. (2010). Music Perception. *Springer Handbook of Auditory Research*. Springer New York Dordrecht Heidelberg London. doi: 10.1007/978-1-4419-6114-3.
- Romaní, F. (2010). Reporte de caso y serie de casos: una aproximación para el pregrado. *CIMEL* Vol. 15, N°1.
- Rosa, D. (2010). *Encyclopedia of Cross-Cultural School Psychology*. (C. S. Clauss-Ehlers, Ed.) Boston, MA: Springer.
- Rovelli, C. (2018). *The Order of Time*. (E. Serge, & S. Carnell, Traduc.) New York, New York: Riverhead Books.
- Rowland, A., Lesesne, C., and Abramowitz, A. (2002). The Epidemiology of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD)/ A public health view. *Mental Retardation and Develoamental Disabilities Research Reviews* Wiley-Liss, Inc. doi. 10.1002/mrdd.10036.
- Rueda, M. R., Fan, J., McCandliss, B. D., Halparin, J. D., Gruber, D. B., Lercari, L. P., & Posner, M. I. (2004). Development of attentional networks in childhood. *Neuropsychologia*, 42(8), 1029–1040. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.12.012>.

- Sagvolden, T., Johansen, E. B., Aase, H., & Russell, V. A. (2005). A dynamic developmental theory of attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) predominantly hyperactive/impulsive and combined subtypes. *The Behavioral and brain sciences*, 28(3), 397–468. <https://doi.org/10.1017/S0140525X05000075>
- Sauceda, J. (2014). Trastorno por déficit de atención con hiperactividad/ un problema de salud pública. *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM*. Vol. 57, N.º5. Septiembre-Octubre 2014.
- Schubotz, R. I., Friederici, A. D., & von Cramon, D. Y. (2000). Time perception and motor timing: a common cortical and subcortical basis revealed by fMRI. *NeuroImage*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.1006/nimg.1999.0514>
- Slater JL and Tate MC (2018) Timing Deficits in ADHD: Insights From the Neuroscience of Musical Rhythm. *Front. Comput. Neurosci.* 12:51. doi: 10.3389/fncom.2018.00051.
- Squire, L., Berg, D. Bloom, F., du Lac, S. Ghosh, A. & Spitzer, N. (2008). *Fundamental Neuroscience*. San Diego, CA. 3rd edition, Elsevier.
- Strauss, A. A., & Lehtinen, L. E. (1947). *Psychopathology and education of the brain-injured child*. Grune & Stratton.
- Stern, T., Fava, M., Wilens, T., y Rosenbaum, J. (2018). Massachusetts General Hospital. *Tratado de Psiquiatría Clínica, Segunda Edición*. Elsevier, España.
- Tichko, P., Chul Kim, J., Large, E. & Loui, P. (2020). Integrating musica-based interventions with Gamma-frequency stimulation: Implications for healthy ageing. *Eur J Neurosci.* 2020;00:1-21.
- Thapar, A. & Cooper, M. (2016). Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *The Lancet*. doi: 10.1016/s0140-6736(15)00238-x.
- Thaut, M., McIntoch, G and Hoemberg, V. (2015). Neurobiological foundations of neurologic musica therapy/ rhythmic entrainment. *Frontiers in Psychology*. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01185.
- Tiffin-Richards, M. C., Hasselhorn, M., Richards, M. L., Banaschewski, T., & Rothenberger, A. (2004). Time reproduction in finger tapping tasks by children with attention-deficit hyperactivity disorder and/or dyslexia. *Dyslexia (Chichester, England)*, 10(4), 299–315. <https://doi.org/10.1002/dys.281>.
- Tecumseh, W. (2017). Lab-cultured musical universals. *news & views*, 10 January 2017, volume 1. No. 0018.
- Turlough, M.J., Gruener, G., Mtui, E. (2012). *Neuroanatomía clínica y neurociencia*. 6a edición. Elsevier, España.

- Vallejo, J. (2015). *Introducción a la psicopatología y la psiquiatría*. 8va edición. Elsevier Masson.
- Vaughan, R. A., & Foster, J. D. (2013). Mechanisms of dopamine transporter regulation in normal and disease states. *Trends in pharmacological sciences*, 34(9), 489–496. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2013.07.005>.
- Volkow, N. D., Wang, G. J., Newcorn, J., Telang, F., Solanto, M. V., Fowler, J. S., Logan, J., Ma, Y., Schulz, K., Pradhan, K., Wong, C., & Swanson, J. M. (2007). Depressed dopamine activity in caudate and preliminary evidence of limbic involvement in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Archives of general psychiatry*, 64(8), 932–940. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.64.8.932>.
- Wang, H., & Fan, J. (2007). Human attentional networks: a connectionist model. *Journal of cognitive neuroscience*, 19(10), 1678–1689. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.10.1678>.
- Waxman, S. (2010). *Neuroanatomía Clínica*. Lange, 26va ed. Ed. The McGraw-Hill.
- Wearden, J. H. (2004). Decision processes in models of timing. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 64(3), 303–317.
- Wearden, J. H. (2016). *The Psychology of Time Perception*. Palgrave Macmillan UK. Doi: 10.1057/978-1-137-40883-9.
- Wing, Alan. (1980). Wing AM 1980 The long and short of timing in response sequences. In GE Stelmach and J Requin (Eds) *Tutorials in Motor Behavior*.
- Wing, A. M., & Kristofferson, A. B. (1973). The timing of interresponse intervals. *Perception & Psychophysics*, 13(3), 455–460. <https://doi.org/10.3758/BF03205802>.
- Wing, A.M., Kristofferson, A.B. Response delays and the timing of discrete motor responses. *Perception & Psychophysics* 14, 5–12 (1973). <https://doi.org/10.3758/BF03198607>.
- Yañez, Ma.G. (2016). *Neuropsicología de los trastornos del neurodesarrollo: Diagnóstico, evaluación e intervención*. Editorial El Manual Moderno.
- Zatorre, R., Chen, J. and Penhune, V. (2007). When the brain plays music/ auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews-Neuroscience*, vol. 8. doi:10.1038/nrn2152.

XII. ANEXOS

Anexo 1. Resumen de resultados por pista

Los resultados de BANETA muestran variaciones entre sujeto e intraindividual, que se puede observar por la distribución de percentiles entre cada participante; además de la variabilidad de las puntuaciones de cada caso. Debido a esto se decidió hacer un análisis con los datos psicométricos de la prueba BANETA, para comparar la distribución de los cinco casos (ver gráfico 3). Se comparó con los parámetros de edad de 8 años por ser la edad que más se repite en la muestra.

Periodicidad

El desempeño de los participantes se comporta dentro de los parámetros normales, con un dato en el extremo inferior; con una media de 3.29 y desviación estándar de 1.03, señalando que de los casos, uno en particular presenta mayores dificultades para mantener ritmo.

Alternancia

Los puntajes de los participantes presentan una distribución normal, con una media de 3.07 y desviación estándar de 1.04. Esta sub-prueba no representa dificultad notoria.

Precisión

La distribución de los puntajes de precisión está dentro de lo normal, con tendencia al extremo inferior, con una media de 2.98 y desviación estándar de 1.07. La distribución indica que hay mayor dificultad para ejecutar movimientos precisos.

Coordinación motora derecha

Los resultados de esta sub-prueba se encuentran distribuidos por encima de la media y un dato en el extremo inferior. Con una media de 4.54 y desviación estándar de 1.35. Los resultados ubican a un caso con dificultades para ejecutar movimientos coordinados con la mano derecha.

Coordinación motora izquierda

La distribución de los puntajes se comporta en los parámetros normales, con una media de 4.35 y una desviación estándar de 1.54. De acuerdo a la comparación, en este rango de edad el desempeño coordinado con la mano izquierda es similar al de los casos.

Enlentecimiento motor derecha⁴

Los resultados de esta sub-prueba se localiza un dato en la media, dos hacia el extremo, y un dato fuera de la distribución normal, con una media de 36.01 y desviación estándar de 12. En esta sub-prueba los participantes tienen mayores dificultades en comparación con la norma.

Enlentecimiento motor izquierda

La distribución de datos se encuentra por encima de la media y otros a la segunda desviación, igualmente con un dato extremo. Con una media de 36.73 y desviación estándar de 13.22. Los resultados indican dificultad en los casos para ejecutar movimientos con velocidad.

Tapping (velocidad)

Los resultados en esta tarea se comportan dentro de los parámetros normales, con una media de 54.02 y desviación estándar de 12.73. Lo que indican los resultados es que el desempeño de los casos es similar a lo normal.

⁴ Los dominios que registran los resultados en tiempo, como enlentecimiento motor y tapping se correlacionan de forma negativa y su distribución está invertida, lo que se debe interpretar como a mayor puntaje (tiempo), mayor dificultad de ejecución

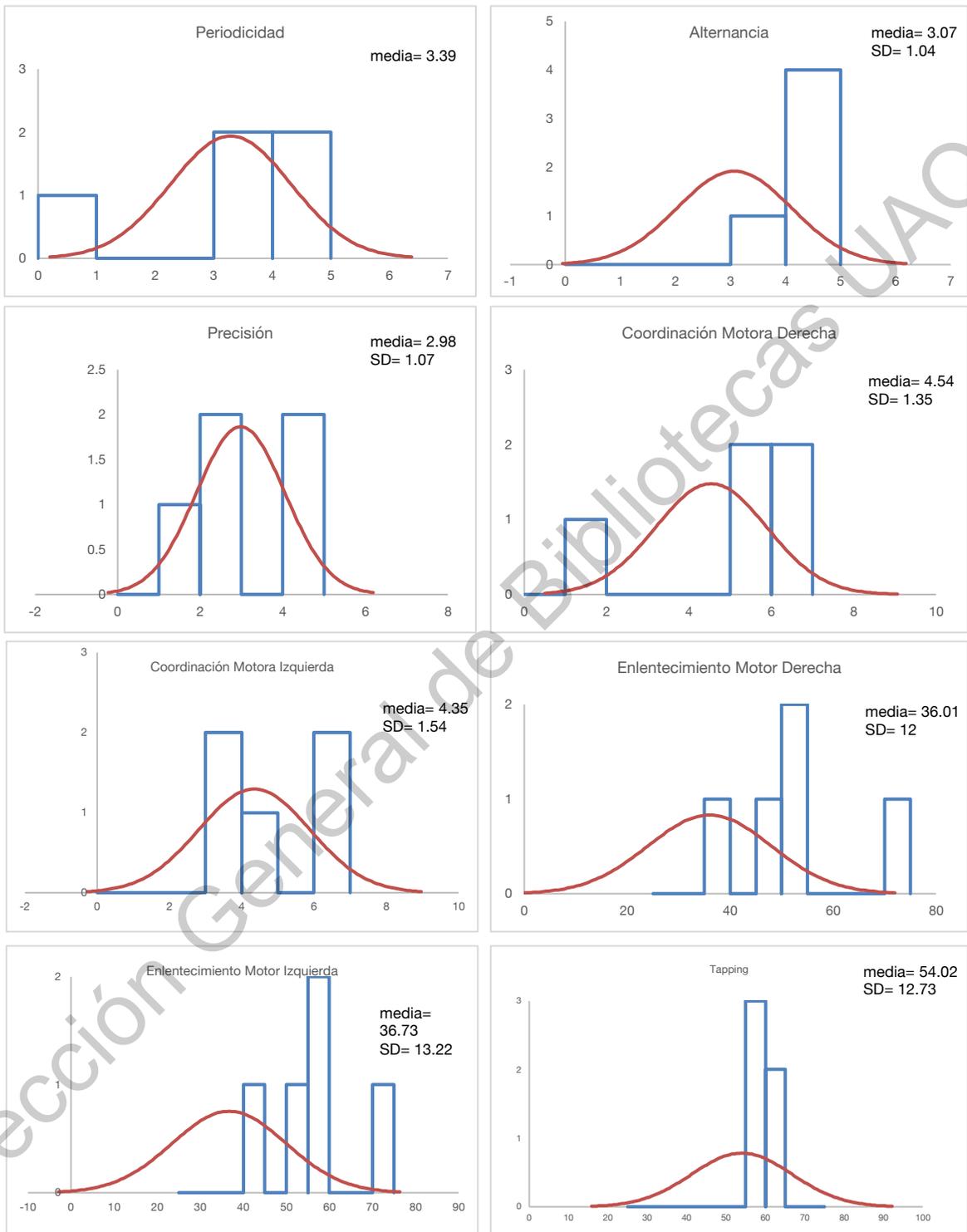
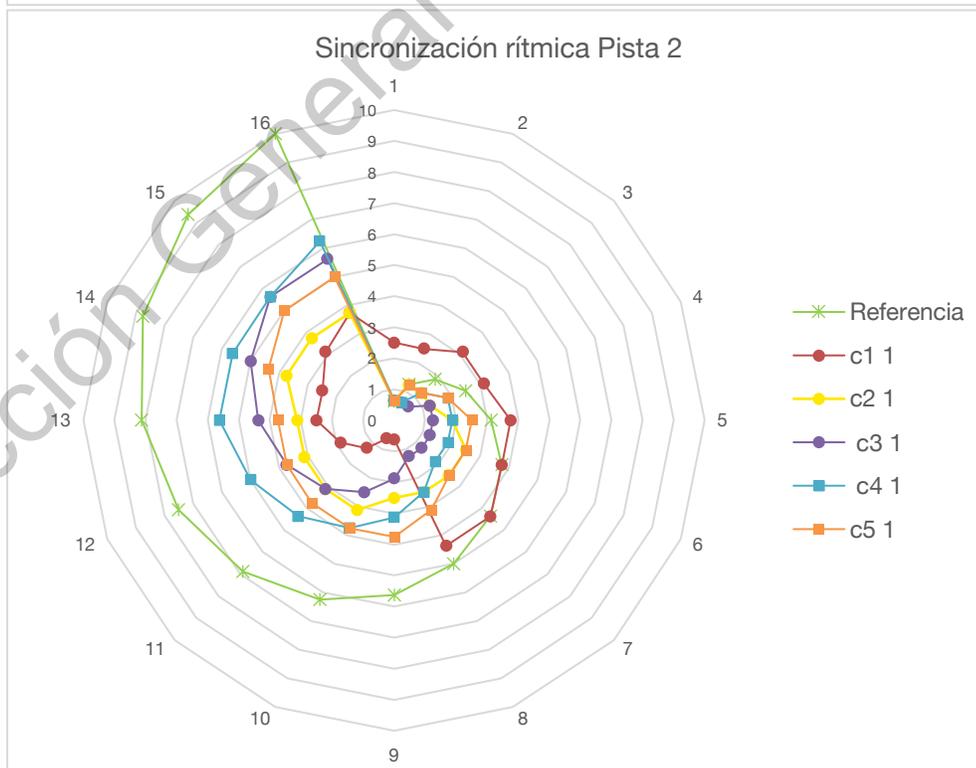
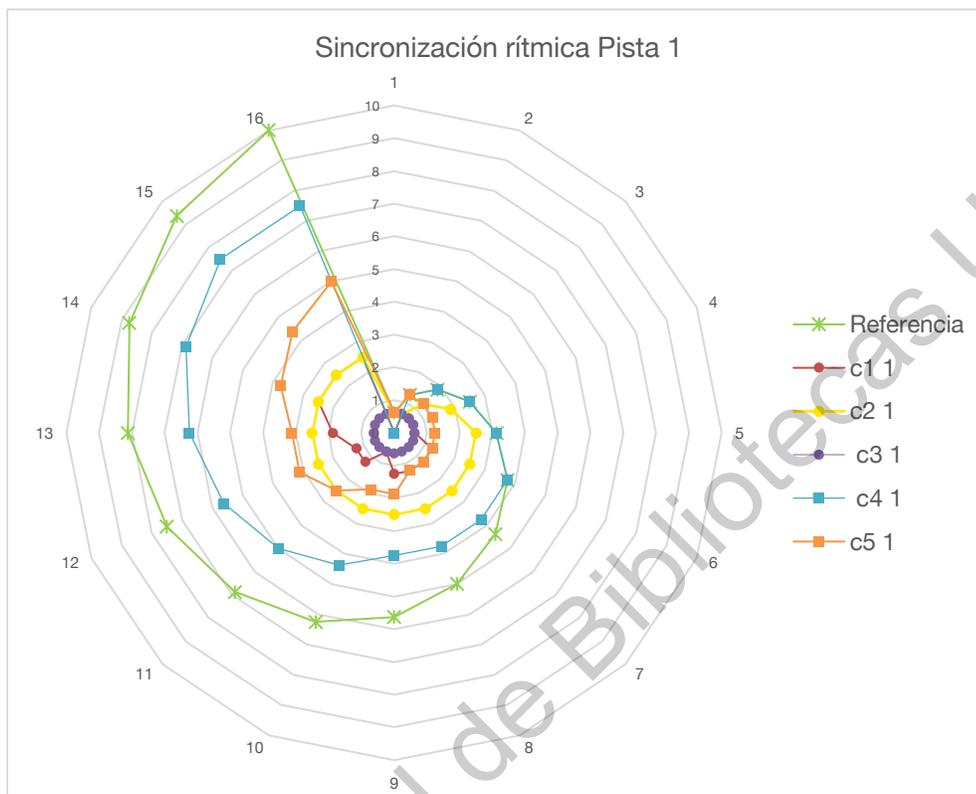
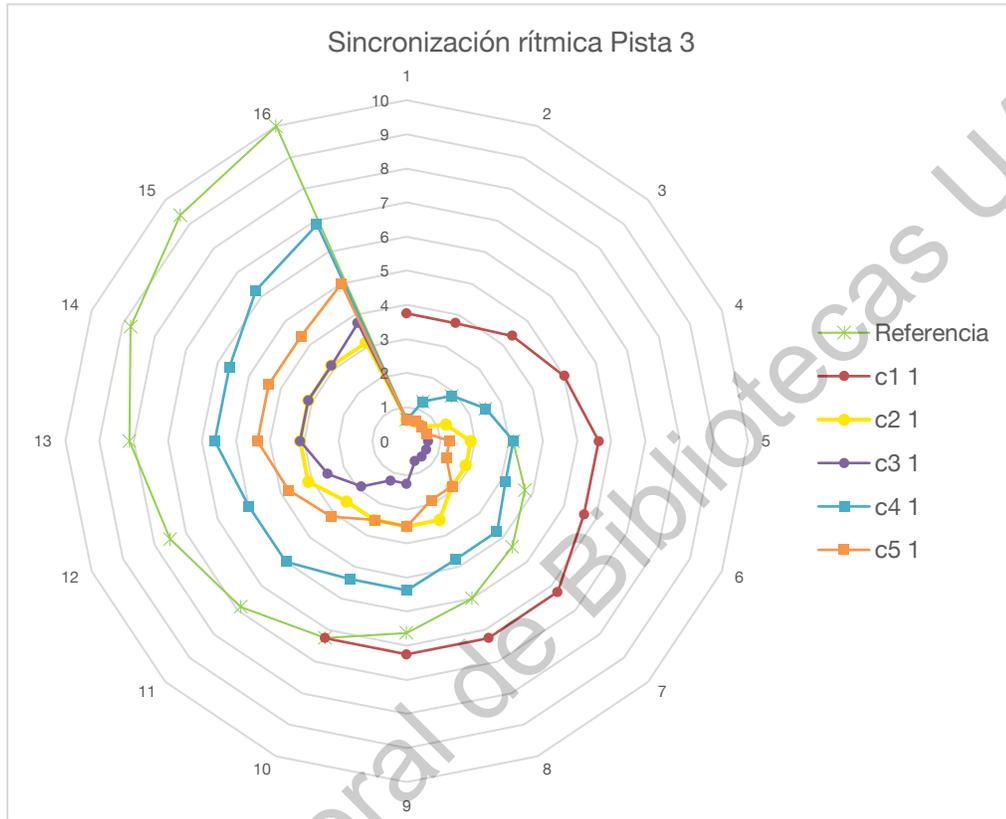


Gráfico 3. Análisis del comportamiento específico por prueba sobre los estándares del BANETA.

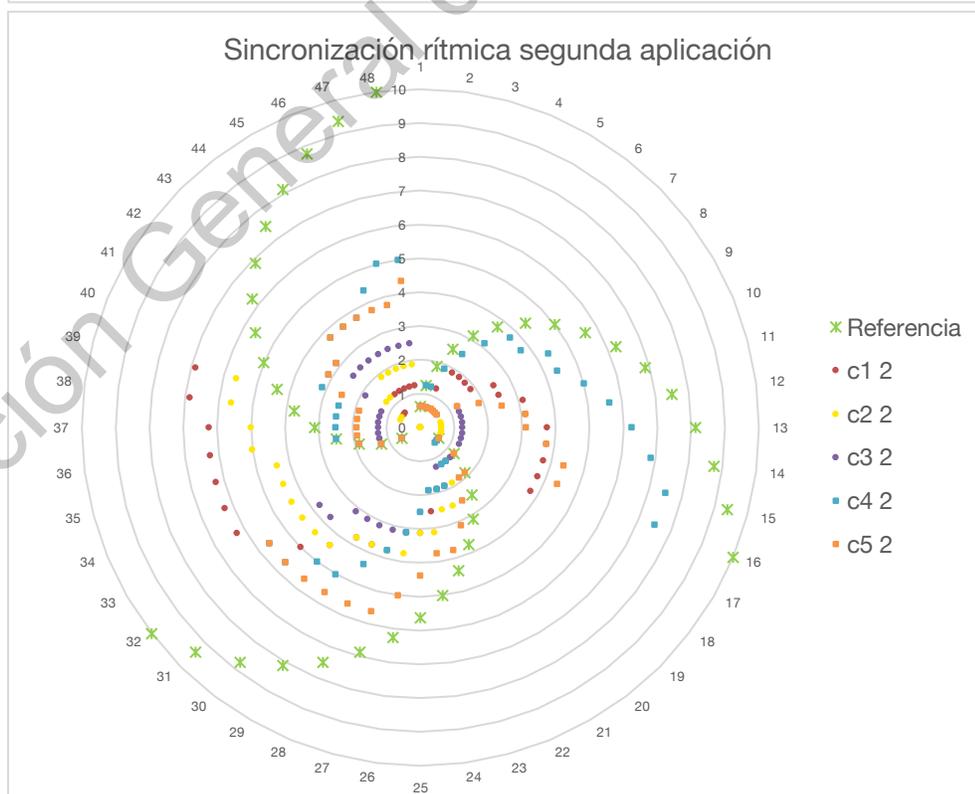
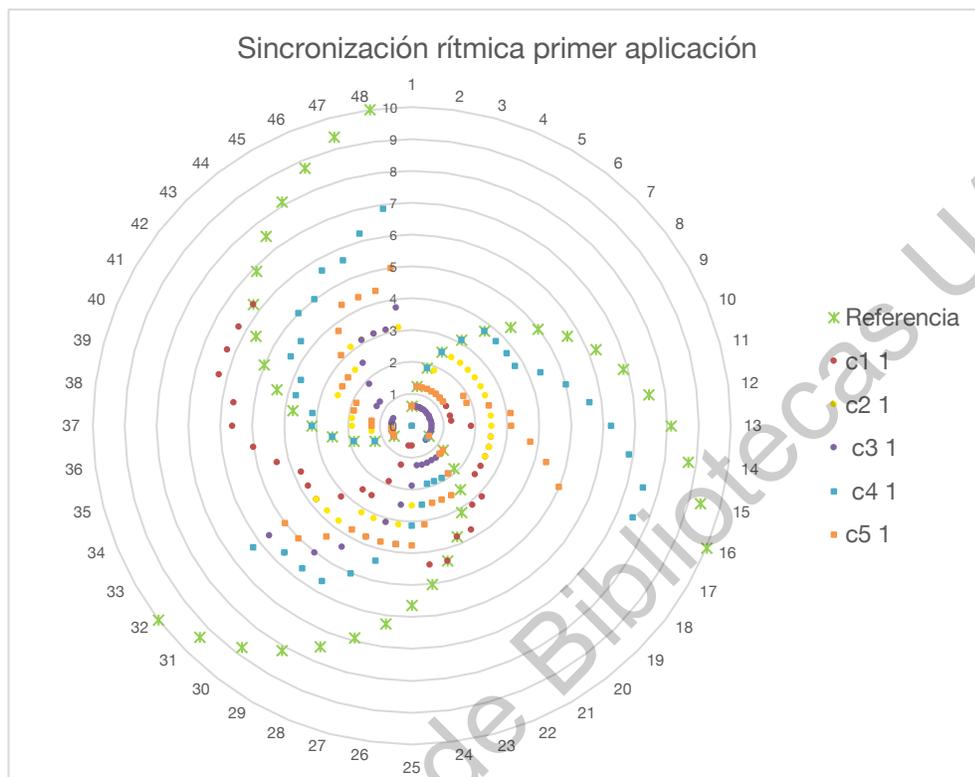
Anexo 2. Resumen de resultados por pista



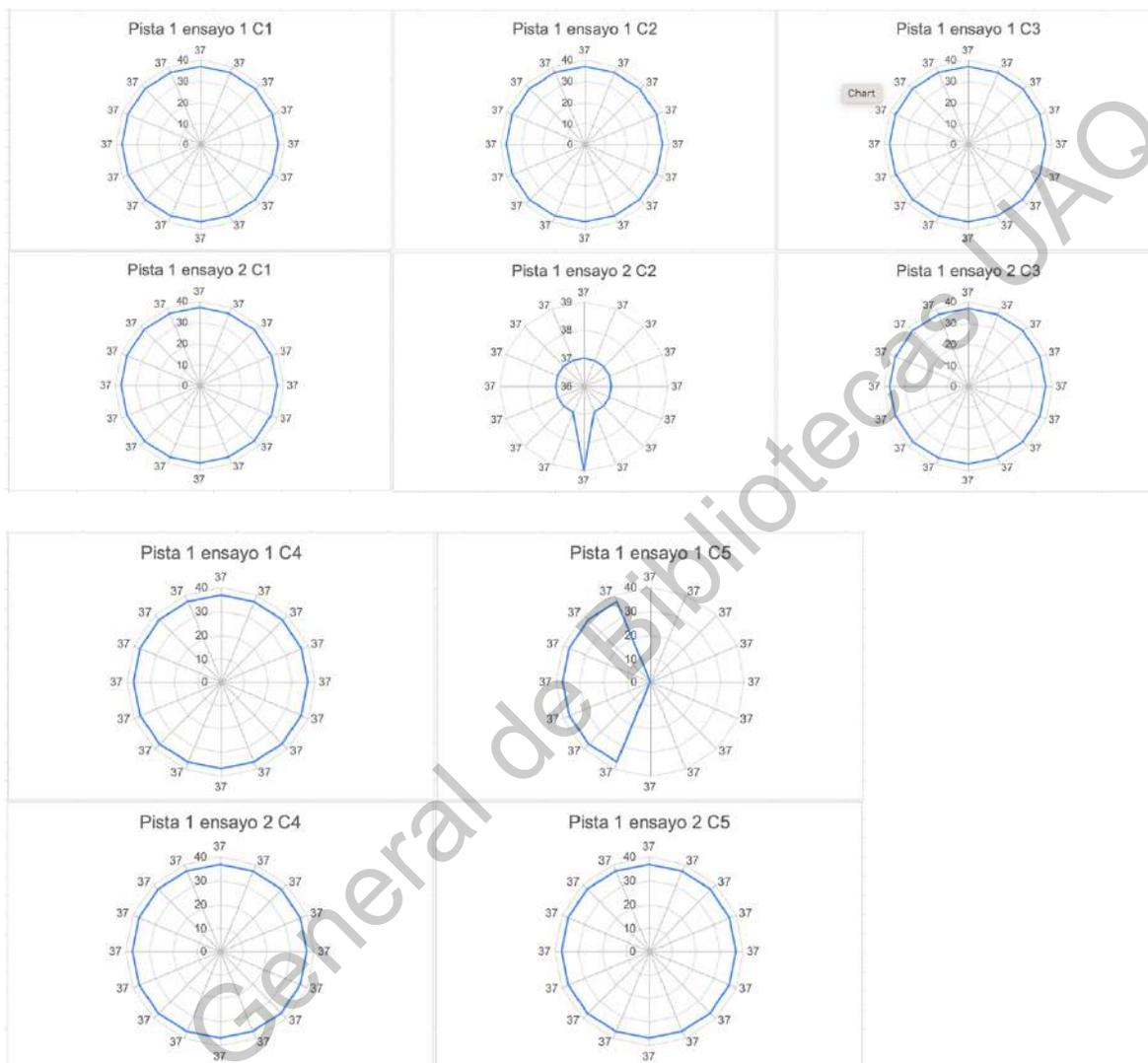


Dirección General de Bibliotecas UAQ

Anexo 3. Resumen de resultados de las tres pistas por ensayo



Anexo 4. Resumen de resultados por variable de tecla correcta



Dirección General de Bibliotecas UJAQ

