

Respuesta motora en el trastorno por déficit de atención con hiperactividad

María Eulalia Guevara¹, Carlos Ramos Galarza²

¹ Maestría en Neurorehabilitación, Facultad de Ciencias de la Rehabilitación.
Universidad Andrés Bello, sede Concepción-Chile.
Autopista Concepción – Talcahuano 7100, Talcahuano, Chile.
ma.guevaravega@gmail.com

² Neuropsicólogo Clínico. Ph.D. (c) en Psicología.
Docente de la Escuela de Psicología, Universidad Indoamérica-Ecuador.
ps_carlosramos@hotmail.com

Resumen. La presente revisión realizó una indagación entre trabajos de investigación de distintas áreas sobre la respuesta motora en niños con Trastorno de Atención con Hiperactividad (TDAH). Así se pretende establecer una relación entre los trastornos en el desempeño motor de los niños con TDAH y sus posibles repercusiones en la medición del tiempo de reacción (RT) de los actos motores. Es importante mencionar que existe un acuerdo general al mencionar que los niños con TDAH presentan dificultades con el control motor, la inhibición de las respuestas motoras, la flexibilidad motora y la preparación del programa motor. Esto se evidencia en el rendimiento disminuido de las habilidades motoras gruesas y finas, con velocidad y rapidez de movimiento variable. Por otra parte, el déficit en el control motor, inhibición y función ejecutiva observada en el TDAH puede responder a la disfunción del circuito cerebelo-tálamo-prefrontal, teniendo como resultado la simplificación anormal o la inhibición defectuosa del programa motor que ocurre, hasta cierto punto, a partir de un mecanismo oscilatorio neural anormal necesario para la regulación temporal motora, lo que produce que los tiempos de reacción sean más lentos y más variables frente a una tarea; en comparación con sus pares sin TDAH.

Palabras claves: Respuesta Motora, Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH), Funciones Ejecutivas (FE), Lóbulo Frontal, Actividad Motora.

Abstract. This study is a review of literature of several areas focused on the motor response of children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). In this respect, the purpose of this reflection is to establish a relationship between the disorder in the motor performance in children with ADHD and the consequences of it in the measurement of the reaction time (RT) in the motor responses. For this purpose, it is important to mention that there is a general agreement with regard of the difficulties of children with ADHD in the motor control, inhibition of the motor responses, motor flexibility and preparation of their motor program. This aspect is the evidence of the diminution of the gross and fine motor skills related to the velocity and rapidness of the variation of the movement. To the other side, it is considered that the motor control, inhibition and executive function observed in children with ADHD can be caused for an uncommon work of the connection cerebellum-thalamus-prefrontal cortex, that results in an abnormal simplification or in a faulty inhibition of the motor control. This problem

starts because of the malfunctioning of the oscillatory neural mechanism in the motor temporal regulation, and, as a consequence, the reaction time decrease; besides, it can also be seen that more variables in the accomplishment of a task appeared, in relation with other children with ADHD.

Keywords: Motor response, Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD), Executive Functions (EF), Front Cortex, Motor Skills.

1 Introducción

Desde 1902, año en que el médico George Still realizó su primera descripción sobre lo que actualmente se conoce como Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH), la definición del TDAH ha pasado por múltiples definiciones, conceptualizaciones y propuestas emitidas desde distintos campos como la medicina, la psicología, y afines, que buscan explicar un trastorno que ocurre típicamente en edades tempranas, aunque durante los últimos años, se puede observar que su diagnóstico y tratamiento se ha extendido a todas las edades.

Pese a su aparente obviedad, se puede decir que detrás de este trastorno se esconden procesos complejos del desarrollo neurológico infantil que todavía no se han conseguido definir en su totalidad debido a la complejidad del tema. Por ello el punto de partida en la definición del TDAH parece claro y presenta: problemas de inatención, impulsividad y sobreactividad motora, que son dimensiones multicomponentes, interrelacionadas. Ante lo que se plantea que el epicentro del trastorno estaría en el córtex prefrontal.

El área de mayor preocupación de los investigadores se ha centrado en las funciones ejecutivas, dentro de las cuales los niños con TDAH han mostrado en mayor o menor medida, y ha sido motivo de controversias entre especialistas, dificultades que abarcan coordinación motora y secuenciación, memoria de trabajo y cálculo mental, planificación y anticipación, fluencia verbal, distribución de esfuerzos, estrategias organizativas, internalización del habla (autoinstrucciones), etc. [1].

Dentro del área motora, hasta un 50% de los casos registrados, se presentan problemas de coordinación motora tanto fina como gruesa; y en general, signos neurológicos blandos.

Algunos trabajos revisados sobre el tema en discusión Epstein, et al. [2], Hervey, et al. [3], Klotz, et al. [4], Rubiales, Bakker y Urquijo [1], Poeta y Rosa [5] y Vidarte, Ezquerro y Giráldez [6], describen la relación del TDAH con los déficit en las funciones corporales y el desempeño general de la persona. Sin embargo, no se incluye una valoración del desempeño en la tarea de los escolares con dificultades específicas en las habilidades o destrezas de ejecución durante el desarrollo de las tareas.

Es así que se considera que algunas de las razones por las cuales debiera haber un trabajo de investigación sobre los trastornos del control motor y el desempeño motor en general en el TDAH, son el presentar una conceptualización del trastorno con

mayor profundidad e integrada; y a su vez que tener la posibilidad de ayudar a estos niños con programas de actuación motora más eficaces. De esta forma se puede decir que la presente investigación pretende ser un primer acercamiento a los hechos descritos.

Para efectos del trabajo se plantea dentro del contexto que se busca indagar entre distintos trabajos de investigación, sobre respuesta motora (acción de orden motor, desencadenada por un estímulo excitador [7]), en niños con TDAH. Para poder establecer una relación entre TDAH y la medición del tiempo de reacción (RT).

“Y es que con el TDAH pasa algo similar que con el dolor: sentirlo es fácil, explicarlo es otra cosa” (Servera, 2008).

2 TRASTORNO POR DÉFICIT DE ATENCIÓN CON HIPERACTIVIDAD

El Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) es un trastorno del neurodesarrollo infantil, producido por una alteración neurobiológica, que parece estar basada en un complejo patrón genético debido a la variación de algunos genes implicados en la regulación de la dopamina, la norepinefrina y la neurotransmisión de serotonina (NET1, transportador de la norepinefrina. DRD1, receptor D1 de la dopamina. DAT1, transportador de la dopamina y D4, receptor D4 de la dopamina) [9, 10].

Como base fisiopatológica de este trastorno, se sugiere una disfunción del circuito fronto-estriatal que involucra al córtex prefrontal, núcleos de la base (núcleo caudado), tálamo y cerebelo [10, 11]. Manifestado por una exagerada e inapropiada actividad motora, impulsividad y dificultad para mantener la atención, de manera “más frecuente e intensa que en niños ‘sanos’ de la misma edad y nivel de desarrollo intelectual” [5, pág. 146].

Aunque su “etiología es multicausal” [12, pág.386]. Se resaltan los factores externos como el contexto ambiental que no es causa del TDAH, pero sí pueden exacerbar síntomas actuando sobre un sustrato susceptible y contribuir a la presencia de otros déficits asociados [13].

El diagnóstico se fundamenta en criterios clínicos recogidos en la 5ta. Edición del Manual Diagnóstico y Estadístico de los trastornos mentales (DSM- V, por sus siglas en inglés) e ICD - 10. Ambos recogen un listado de síntomas que se refieren a conductas de inatención, hiperactividad e impulsividad, los cuales deben persistir a lo largo del tiempo y las situaciones, además de manifestarse en al menos dos contextos diferentes [10, 12, 14,15].

La prevalencia del TDAH en infantes varía sustancialmente entre distintos países y ofrece un intervalo de datos que describen un mismo trastorno clínico [6, 16]. Las cifras que concitan el mayor acuerdo pertenecen a lo que plantea el DSM- V, donde se estima que la cifra varía entre el 3% - 10% de la población general de niños en edad escolar [14]. Se observa entonces que los varones presentan una incidencia mayor pues afecta a tres niños por cada niña [9, 10, 15]. En América Latina, la cifra estimada de afectación a escolares aproximadamente es 5.29% [17]. A su vez, en

Ecuador un estudio realizado en la ciudad de Cuenca, obtuvo como resultado que el 10.6% de un total de 106 escolares evaluados poseen este trastorno [18].

2.1 Características Clínicas

Actualmente, para definir las características clínicas del TDAH se maneja el concepto de déficit en el control inhibitorio de la respuesta, que se caracteriza por la incapacidad notoria para inhibir los impulsos y los pensamientos que interfieren en las funciones ejecutivas, cuya actuación permite superar las distracciones, plantearse objetivos y planificar la secuencia de pasos necesaria para lograrlos [10].

El TDAH se caracteriza por la presencia de grados variables de inatención, hiperactividad e impulsividad que impactan en el desarrollo del aprendizaje y rendimiento escolar así como en los procesos adaptativos del individuo a su medio ambiente [17].

A continuación se definen algunos términos necesarios para el entendimiento del TDAH:

Déficit de atención: Se refiere a las dificultades al mantener atención de forma sostenida, seguir instrucciones, organizar tareas secuenciales y finalizarlas, con presencia de errores en detalles, dificultad en mirar o escuchar a alguien que habla de manera directa y evitación de tareas que demanden atención sostenida o esfuerzo mental [14].

Hiperactividad: Se caracteriza por presentar: inquietud motora, movimientos excesivos e indiscriminados de manos o pies; abandonar el asiento en situaciones que se espera que permanezca sentado; correr y saltar en situaciones que es inapropiado hacerlo, dificultad para jugar o dedicarse tranquilamente a actividades de ocio, hablar excesivamente [14].

Impulsividad: Característica conductual que se manifiesta como la predisposición para reaccionar con una acción apresurada y no planificada a los estímulos internos o externos. Se configura en tres dimensiones: motora, cognitiva e impulsividad no planificadora [19].

Por otro lado la clasificación fenotípica actual del trastorno establece tres subtipos que son: predominantemente inatento (TDAH-I), predominantemente hiperactivo-impulsivo (TDAH-H) y combinado (TDAH-C) [20]. Sin embargo, algunas investigaciones cuestionan el diagnóstico y los subtipos, por lo que continúan en constante revisión [21].

2.2 Déficit motores en el TDAH

Es posible que en niños con TDAH estén presentes diversas comorbilidades relacionadas con el desarrollo del área motora, que interfieren profundamente en el desarrollo cognitivo, afectivo y en el desenvolvimiento normal de las actividades cotidianas. [1, 5, 22, 23]

Es así que Poeta y Rosa [5] explica que las dificultades observadas en la coordinación motora de niños con TDAH pueden ser resultado de la falta de control del movimiento corporal y la escasa capacidad para mantener la atención.

Adicionalmente Clements en 1966, citado por Vidarte, Ezquerro y Giráldez [6], hace referencia a la relación entre las dificultades motoras con la inmadurez motora presente en el TDAH, cuando describía a niños que presentaban déficit de atención, perturbaciones en la coordinación y el control del movimiento.

Según Berquin (1998), citado por Poeta y Rosa [5], el déficit en el control motor, inhibición y función ejecutiva observada en el TDAH puede deberse a la disfunción del circuito cerebelo-tálamo-prefrontal, teniendo como resultado en el área motora la simplificación anormal o la inhibición defectuosa del programa motor.

Por otro lado, DeVito, et al. [24] y Rommelse, et al. [25], afirman que los niños con TDAH también presentan problemas motores asociados a la disfunción del cerebelo, tales como problemas del equilibrio, movimientos alterados, fallas en la estructuración temporal, además de dificultades en los movimientos delicados:

“La práctica clínica muestra que el TDAH y la torpeza motora tiene una relación muy estrecha, cuyo vínculo parece ser un sólido enlace neuroevolutivo, que afecta a un 50% de los niños con TDAH” [6, pág. 69].

Al respecto se ha reportado en algunos pacientes el patrón electroencefalográfico con un incremento de la actividad theta que sugiere la presencia de baja maduración cerebral [10].

Ben-Pazi, H, et al. [26] señalan que niños con TDAH presentan dificultades con el control motor, la inhibición de las respuestas motoras, la flexibilidad motora y la preparación del programa motor. Ante lo que se propone que estas alteraciones motoras en el TDAH podrían aparecer, al menos en parte, a partir de un mecanismo oscilatorio neural anormal necesario para la regulación temporal motora.

Es importante mencionar que se ha reportado que los déficits en el desarrollo motor como la simplificación anormal o la inhibición defectuosa del programa motor, son resultado de la disfunción del circuito cerebelo-tálamo-prefrontal, estructuras relacionadas con el control motor, inhibición, función ejecutiva y atención en el movimiento. Además se han relacionado con la función anormal del putamen, estructura implicada en regulación de la conducta motora [5, 24, 27].

La revisión realizada por los investigadores: Brossard, M; Majnemer, A y Shevell, M [13]. Centra su atención a los mecanismos neurológicos que potencialmente explicarían las alteraciones motoras en niños con TDAH. Ante lo que se han encontrado, diferentes respuestas, entre ellas la hipótesis de la desregularización de la activación cortical, la de la disfunción cerebelar y la referente a la maduración retrasada de la sustancia blanca. Concluyendo que la literatura publicada es insuficiente para confirmar una hipótesis específica.

Las dificultades en la motricidad como alteraciones en la coordinación global, en la orientación espaciotemporal y en la motricidad fina de estos niños serían originadas por las alteraciones en las estructuras cerebrales relacionadas con la planificación y la inhibición del plan motor, estrechamente relacionado con la impulsividad y la falta de atención en el momento de la ejecución del movimiento [5].

Existe una variedad de trabajos publicados Epstein, et al. [2]; Hervey, et al.[3]; Klotz, et al. [4], Poeta y Rosa [5], donde se menciona que la investigación reciente otorga importancia a los lapsos de atención en la generación de respuestas motoras anormalmente variables. Reportan además, que los niños que cumplen con los criterios diagnósticos para el TDAH, al ser evaluados con diferentes instrumentos de valoración, demuestran alteraciones en la coordinación motora (velocidad

perceptivomotora e inhibición de la respuesta motora) al compararlos con niños “regulares”.

Pese a lo mencionado existe un acuerdo general que los niños con TDAH tienen un rendimiento disminuido de las habilidades motoras gruesas y finas, con velocidad y rapidez de movimiento variable; en comparación con sus pares sin TDAH [13].

Epstein, et al. [2]; Hervey, et al. [3] y Klotz, et al. [4], relacionan estas diferencias del desarrollo motor con la variación del tiempo de reacción (RT) ante un estímulo donde este es un indicador del nivel de la velocidad de procesamiento del sistema nervioso en la elaboración de una respuesta.

3. Modelos de la respuesta motora: Interacción Cognitivo – Motora

En los últimos años la neurociencia ha generado grandes aportes al conocimiento del análisis movimiento humano y sus posibles alteraciones. Surgió de la necesidad de estudiar la conducta humana, a partir de las capacidades del sistema nervioso y sus implicaciones con respecto al quehacer humano [28]. Estos estudios en neurociencia han permitido avanzar considerablemente en el conocimiento de las interacciones entre la cognición y la acción [29].

López y Fernández [30] señalan, que la información sensorial y los procesos cognitivos disparan la actividad motora, la acompañan y emergen de ella. Los límites fisiológicos entre lo motor, lo sensorial y lo cognitivo son difíciles de establecer, así como asignar un sustrato neural específico a cada una de estas funciones.

A pesar de ello, en este punto de la investigación, es pertinente realizar una breve descripción de los modelos con los que actualmente se cuenta para la explicación de la integración cognitivo-motora para la ejecución de la respuesta motora.

3.1 Modelo Neurobiológico

Dentro de este modelo se resalta la organización de la anatomía cerebral y de las áreas específicas del sistema nervioso que se ven involucradas en la producción del movimiento. Donde los múltiples sistemas sensoriales aportan datos sobre el estado actual de la ejecución de la tarea hacia la corteza cerebral. Información con la que se planifica e inicia el movimiento (ver figura 1).

El lóbulo frontal es responsable de planificar e iniciar secuencias de conductas para la ejecución del movimiento. Se divide en tres áreas: corteza prefrontal (CPF), corteza premotora (CPM) y corteza motora primaria (CMP). La CPF planifica conductas complejas, especifica el objetivo hacia el que deben dirigirse los movimientos. No especifica los movimientos precisos que deben realizarse. La CPM produce las secuencias complejas de movimiento apropiadas para la tarea, y la CMP especifica los detalles de cómo debe realizarse el movimiento, es decir es la responsable de ejecutar los movimientos hábiles [27].

A su vez, la CPF se divide en diversas regiones: dorsolateral, orbitofrontal y medial o cíngulo anterior. Estas regiones están conectadas con diversas estructuras subcorticales –núcleo estriado (caudado y putamen, pálido y tálamo), formando

circuitos subcorticales. Hay cinco circuitos subcorticales reconocidos: uno motor, que se origina en el área suplementaria motora; un circuito oculomotor, que parte del área 8, y tres más que parten de las distintas regiones de la CPF (dorsolateral, orbitofrontal y medial o cíngulo anterior). Distintos perfiles cognitivos, conductuales y emocionales están asociados a estos circuitos [27].

La función del lóbulo frontal implica, por consiguiente, la ejecución de movimientos precisos, la planificación de los movimientos y la coordinación de diferentes partes del cuerpo para llevarlos a cabo. [27].

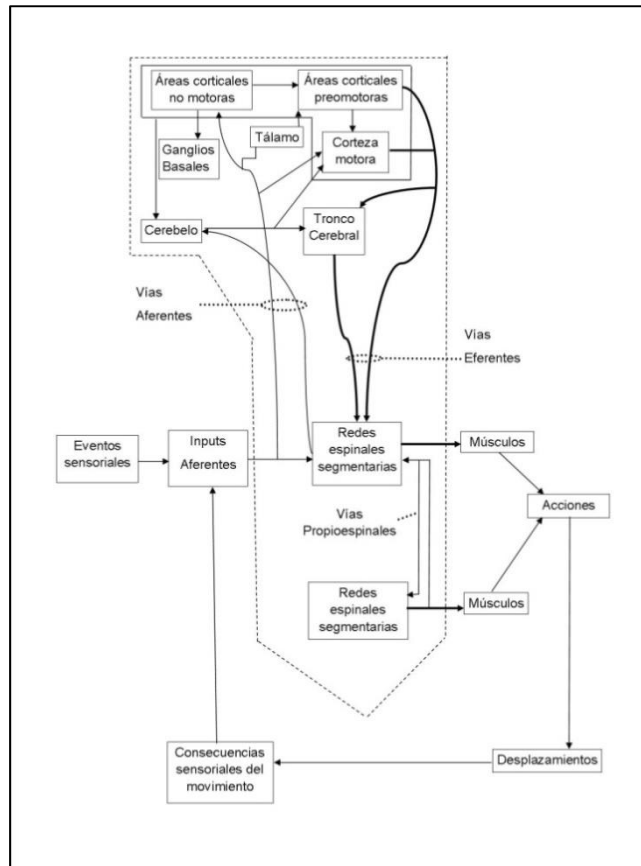


Figura 1. Modelo abstracto de la organización global de las estructuras neurales implicadas en el control del movimiento. Cuatro sistemas distintos: los circuitos locales de la medula espinal y del tronco del encéfalo, los sistemas moduladores descendentes, los ganglios basales y el cerebelo, efectúan contribuciones esenciales y distintas al control motor [31].

Luego, la médula espinal sirve de doble vía ya que transmite los impulsos necesarios para la activación muscular como la información de los receptores sensoriales. Controlando así la ejecución del plan motor. Adicionalmente intervienen

estructuras como los ganglios de la base que regulan la cantidad de fuerza requerida para cada movimiento particular y el cerebelo que colabora en la regulación de la secuencia temporal (sincronización) y corrige errores de movimiento (precisión). Estos niveles actúan como un todo en el control del movimiento [27].

3.2 Modelo cognitivo-motor

Debido al importante desarrollo de la neurociencia cognitiva ha sido posible un significativo avance en la comprensión de las diversas interacciones entre el movimiento y las funciones cognitivas [29].

Un primer aspecto cognitivo que se tiene en consideración en la relación cognitivo-motora es la capacidad para representar mentalmente un determinado movimiento. Este proceso constituye una imaginación motora que implica la simulación mental de una acción sin realizar la respuesta motora [32].

Dicha simulación del movimiento a nivel cognitivo tiene una estrecha relación con la memoria de trabajo, que es la función mental donde se reactiva la secuencia para elaborar un movimiento determinado [33].

La evidencia empírica basada en el estudio del tiempo de reacción durante una determinada acción o la imaginación mental del movimiento han permitido develar que a nivel cerebral existen diversos circuitos y estructuras anatómicas que participan en el movimiento. El nivel de tono cortical se manifiesta de distinto grado en el cerebro al realizar diversas acciones motoras y la existencia de una representación mental del acto motor [29, 34, 35].

Entre las estructuras neuroanatómicas que se han relacionado al almacenamiento de las diversas figuras mentales que componen la acción están la corteza de los lóbulos parietal y frontal, por ejemplo el sistema funcional del movimiento propone que el movimiento es producido por la interacción de zonas parietales, motora primaria y corteza premotora [35, 36].

La corteza prefrontal supervisa el comportamiento y activa las funciones ejecutivas en el movimiento voluntario, según Norman y Shallice [37] los seres humanos cuando realizamos un movimiento presentamos un acto motor planificado, que persigue un objetivo o inhiba automatismos ejecutados por un mecanismo cognitivo denominado sistema atencional supervisor.

Por el contrario los autores Norman y Shallice [37] demuestran que un sujeto que presente una respuesta motora automática, sin planificación, de manera impulsiva o sin tener conciencia de sus consecuencias actúa desde los mecanismos: dirimidor de conflictos, esquemas y procesos cognitivos básicos. En la figura 2 se expone la forma de interacción entre los dos mecanismos descritos.

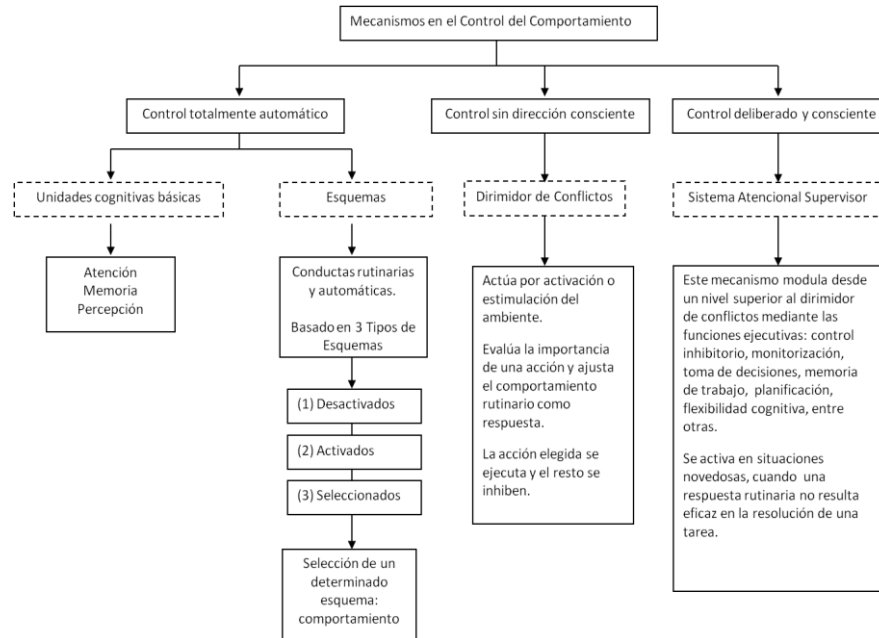


Figura 2 Esquema donde se expone los mecanismos que intervendrían en el control de una respuesta motora consciente y automática según Norman y Shallice [37].

3 Funciones ejecutivas y la regulación motora de la conducta humana: “El lóbulo frontal”

Según Flores, J y Ostrosky, F. [38] y García-Molina, A; et, al. [39]. Las funciones más complejas del humano, entre ellas las funciones ejecutivas (FE), son soportadas principalmente por la corteza prefrontal (ver imagen 1). Se han definido, de forma genérica, como aquellos procesos cognitivos que permiten la planeación eficiente de la conducta humana, el control y regulación de comportamientos dirigidos a un fin. Además, permiten que los sujetos se involucren exitosamente en conductas independientes, productivas y útiles para sí mismos, cuyo principal objetivo es facilitar la adaptación a situaciones nuevas (que incluyen habilidades motoras y cognitivas) para formular nuevos planes de acción, al igual que cuando se necesita seleccionar y programar secuencias apropiadas de respuesta.

Los lóbulos frontales son las estructuras cerebrales de más reciente desarrollo y evolución en el cerebro humano, su perfeccionamiento en los primates se relaciona con la necesidad de un control y coordinación más compleja de los procesos cognitivos y conductuales que emergieron a través de la filogénesis de estas especies [38].

En términos anatómicos, la corteza prefrontal ocupa un lugar privilegiado para orquestar todas estas funciones, puesto que es la región cerebral de integración por excelencia, gracias a la información que envía y recibe virtualmente de todos los sistemas sensoriales y motores. La corteza prefrontal es una extensión de la corteza motora, no es difícil asumir que su función primaria se refiere a algún tipo de movimiento elaborado, o más bien, a una representación de movimientos [39, 40].

La corteza prefrontal dorsolateral, como área asociativa plurimodal, proporcionaría una plantilla neural para las asociaciones intermodales requeridas por los procesos cognitivos y aparentemente motores [39].

Según lo citado por Flores, J y Ostrosky, F. [38], desde un punto de vista neuropsicológico los lóbulos frontales representan un sistema de planeación, regulación y control de los procesos psicológicos; permiten la coordinación y selección de múltiples procesos y de las diversas opciones de conducta y estrategias con que cuenta el humano; organizan las conductas basadas en motivaciones e intereses hacia la obtención de metas que sólo se pueden conseguir por medio de procedimientos o reglas. Además participan de forma decisiva en la formación de intenciones y programas, así como en la regulación y verificación de las formas más complejas de la conducta humana.

Según Ardila, A y Ostrosky, F. [40] parece evidente que la corteza prefrontal esté involucrada en la representación de movimientos y que las funciones ejecutivas sean la internalización de las acciones. Ya que desde la Anatomía: la corteza prefrontal representa una extensión y evolución de las áreas motoras frontales. Entonces, es posible conjeturar que el lóbulo prefrontal participa en actividades motoras complejas y elaboradas, lo que es corroborado por observaciones clínicas, donde diversas alteraciones del control motor se observan en caso de patología prefrontal, tales como las perseveraciones, conductas de utilización, reflejos primitivos, etc.

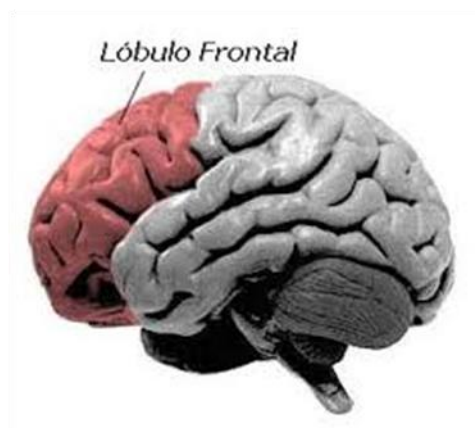


Imagen 1. Representación e identificación neuroanatómica del lóbulo frontal humano. Esta estructura cerebral es la encargada de los procesos cognitivos conscientes en la respuesta motora [37].

4 Movimiento voluntario: Respuesta Motora y Tiempos de Reacción

Un movimiento es llamado *voluntario*, *intencional* o *dirigido* a un objetivo, cuando su intención es direccionada al cumplimiento de la tarea. Su logro requiere la movilización e inmovilización de los segmentos corporales [41].

La *tarea a realizar*, que es la *tarea prevista* puede ser descrita por la categoría general a la que pertenece, por ejemplo apuntar, lanzar, caminar, etc. También puede ser descrita por sus parámetros específicos, tales como la velocidad, la amplitud, la orientación o la precisión (incluyendo las condiciones iniciales y finales), y el contexto del medio ambiente (tipo de terreno, la fricción, el viento, o la resistencia del agua). La *tarea a ser realizada* es la entrada al sistema sensorio – motor. La *tarea real*, es decir, la tarea que se realiza actualmente es la salida del sistema como resultado de asociar un proceso jerárquico de tres niveles diferentes. Este tipo de tarea cumple con los requisitos de la *tarea prevista* en diferentes grados de eficiencia [41].

Un movimiento voluntario es parte de un proceso más general, llamado el *acto motor*. En otras palabras, un movimiento voluntario es el medio para completar la ejecución de un acto motor [41].

Por lo tanto para que un movimiento voluntario (acción/respuesta motora) sea eficiente necesita de ciertas características como coordinación de distintos elementos (intramuscular, entre sistemas, etc.), control de la postura contra o a favor de la gravedad, retroalimentación sensitiva: información visual, vestibular y propiocepción muscular; la atención en la tarea, la memoria de la experiencia previa y memoria de trabajo que juegan un rol decisivo en la toma de decisiones y ejecución del plan motor [42].

Rubio, Salazar y Rojas [8] señalan que las habilidades o destrezas de ejecución requeridas para la vida diaria son las acciones observables, concretas y dirigidas a una meta y la representación que emplea la persona para participar en las actividades en un entorno específico, poniendo en juego y combinando las diferentes funciones y estructuras corporales (subsistema de desempeño mente-cerebro-cuerpo). Las tareas significativas requieren de un procedimiento que representa una acción continua o sucesión de acciones que se llevan a cabo en una manera definida y conducen a un resultado determinando. Las habilidades o destrezas de ejecución incluyen las habilidades motoras, de procedimiento, interacción y comunicación.

El Tiempo de Reacción (TR) constituye una variable de ejecución fundamental para entender los sucesivos estadios del procesamiento de la información que realiza nuestro sistema nervioso central ante la aparición de un estímulo. Corresponde al intervalo de tiempo desde el inicio del estímulo hasta el comienzo del acto motor. La medición del tiempo de reacción es considerada una herramienta valiosa para evaluar el tiempo necesario para iniciar y ejecutar una acción determinada y refleja la integridad del sistema de procesamiento de información (Marini, A; Ars, J; Ferrer, S y Bonnet, C, 2004) [4, 43, 44].

Sin embargo es preciso recordar que todas las medidas psicofísica (el TR debe ser considerado como tal) combinan efectos de diferentes factores y, por tanto, no debe asumirse que la respuesta observada es la única «salida» o el resultado directo del

sistema sensorial estudiado. Entonces se puede asumir que toda respuesta psicofísica está constituida, como mínimo, por un componente sensorial y un componente de tipo decisional. La información proveniente del estímulo se representa en términos de un proceso aleatorio y la toma de decisión como un mecanismo en el que los sucesivos valores del proceso se muestrean y acumulan en el tiempo hasta que se alcanza un nivel considerado umbral o criterio. El tiempo que consume el proceso de acumulación en alcanzar dicho umbral se identifica con el componente decisional de la respuesta del sujeto [44].

5. Evidencia empírica: respuesta motora en el TDAH

Al respecto se destaca que una de las alteraciones comórbidas del trastorno por déficit de atención/hiperactividad (TDAH) se manifiesta en la motricidad voluntaria, hasta el punto de que la calidad del desempeño motor durante los 5-6 primeros años de vida podría constituir un predictor de la posterior aparición de síntomas del trastorno. Además, la asociación entre torpeza motora y TDAH supone un pronóstico negativo del cuadro [6].

En una evaluación del perfil psicomotor de niños diagnosticados clínicamente con TDAH, en la ciudad de Manizales – Colombia. Al valorar praxia global se encontraron valores significativamente peores en estos niños de todas las edades evaluadas (5 a 12 años). Señalan que estos hallazgos concuerdan con los de otros autores, que encontraron movimientos más desiguales y más lentos en los niños con TDAH, o con las curvas de los tiempos de reacción establecidas o con el empeoramiento de las alteraciones al aumentar el tiempo de duración de la tarea [6].

Se parte del hecho de que las funciones ejecutivas (FE) son definidas como un conjunto de habilidades cognitivas que permiten establecer objetivos, planificar, iniciar actividades, autorregular el comportamiento, monitorear las tareas, seleccionar las conductas y ejecutar acciones para lograr los objetivos [1]; y que el control inhibitorio se refiere a aquellos procesos mentales encargados del control intencional y voluntario, así como la capacidad de impedir la interferencia de información no pertinente ante respuestas en marcha y suprimir informaciones previamente pertinentes que pueden traer cierto incentivo a corto plazo, pero que no son útiles para la tarea a realizar en la actualidad [1].

De acuerdo a la descripción de Nigg (2000), recopilada en Diamond [21] sobre la inhibición, las del tipo ejecutivas pueden ser definidas como los procesos encargados del control intencional-voluntario y/o supresión de respuestas inmediatas que pueden traer cierto incentivo a corto plazo, al servicio de metas a largo plazo. Además las inhibiciones ejecutivas tienen su naturaleza en los sistemas dopaminérgico frontal y frontal-estriatal. Los circuitos anatómicos para estos procesos se activan de manera distinta según las demandas exijan un control de interferencia motora o de inhibición cognitiva. Por otro lado, la inhibición motora se define como la capacidad del individuo de retraer su respuesta comportamental ante un estímulo y está referida a la habilidad para inhibir una tendencia conductual fuerte, lo que facilita acciones flexibles.

Es pertinente mencionar el estudio realizado por Mazaheri, A, et. al. [45], donde a través de estudios electroencefalográficos, provee evidencia neurofisiológica sobre un déficit específico en el control atencional Top-Down en niños con TDAH, el que es manifestado como desconexión funcional entre la corteza frontal y la occipital. Entre sus hallazgos se encuentra que los niños con desarrollo normal tuvieron RT's más rápidos que los niños con TDAH.

Rubiales, J; Bakker, L y Urquijo, S. [1] en su artículo describen que los niños con TDAH presentaron desempeño inferior en todas las variables de flexibilidad cognitiva, control inhibitorio y motor, a partir de lo cual se concluye que el TDAH se caracteriza como un trastorno con un estilo cognitivo propio y distintivo, con una menor flexibilidad cognitiva un menor control inhibitorio y una dificultad específica de la inhibición motora.

Adicionalmente Cole, W. et. al. [46] señalan que al medir el grado de desarrollo motor de niños con TDAH éste no está de acuerdo a su edad. Destacan que los datos actuales soportan las previamente establecidas asociaciones entre el TDAH y los problemas de inhibición motora, sugiriendo un enlace entre el desbordamiento motor (movimientos involuntarios, que acompañan la generación de movimientos voluntarios) y los problemas de inhibición. Los hallazgos comportamentales en el estudio son consistentes con estudios previos que usaron Paness (Physical and neurological examination for soft signs) donde la velocidad de respuesta mejora con la edad (disminuye en tiempo en el desarrollo típico). Entre los niños de edad escolar las mejoras relacionadas con la edad y la velocidad motora son moderadas por la presencia de TDAH. También resalta que niñas con TDAH presentan una mejoría con la edad consistente con los patrones observados en el desarrollo típico que los niños no.

Klotz et al. [4] menciona que los tiempos de reacción más lentos y más variables frente a una tarea computarizada se han documentado en niños con diagnóstico de déficit de atención / hiperactividad. Los Tiempos de Reacción lentos pueden ocurrir debido a una amplia variedad de enfermedades, trastornos, y condiciones cerebrales adquiridas que afectan a la conducción de la materia blanca, neurotransmisión materia gris, y la eficiencia de las redes neuronales cognitivas. Estos sistemas maduran en la infancia, de tal manera que los tiempos de reacción se acortan y se vuelven menos variables como parte del desarrollo típico. Al mismo tiempo, muchos de los componentes de control del motor también están madurando en desarrollo típico. En los niños con TDAH, el desarrollo de control del motor, incluyendo la velocidad y el tiempo, el equilibrio, y la supresión de los movimientos de desbordamiento contralateral, tienen desfases en comparación a niños con desarrollo típico.

Los resultados encontrados son consistentes con múltiples estudios de imágenes de resonancia magnética, anatómica y funcional, donde se han identificado diferencias en el desarrollo del cerebro entre los niños con TDAH y los controles. Estas diferencias incluyen anomalías en importantes regiones del control motor, como son la corteza frontal, regiones premotoras y motoras y estructuras subcorticales interconectadas [46].

Exámenes del área motora, tales como las PANESS, que ponen en evidencia la velocidad de respuesta y signos blandos, pueden ser sensibles para el desarrollo neurológico anómalo, incluso en la ausencia de hallazgos neuropsicológicos

"cognitivos". Tal evaluación puede ser especialmente útil para funciones superiores en niños con TDAH, que podrían tener resultados normales en otras medidas neuropsicológicas. Sin embargo, aún dentro de un contexto que se entiende como "normal" en exámenes del área motora, las niñas con TDAH continúan en riesgo de deterioro funcional [46].

En el 2012, Karalunas, S; Huang, C y Nigg [47]. Señalan que tiempos de reacción (RT) lenta y variables en tareas rápidas son una característica prominente de TDAH, aunque no está claro si mecanismos simples o múltiples son responsables de las diferencias.

Así, se sugiere que los niños con TDAH tienen un gran número de tiempos de reacción (RT) excesivamente largos relativos a niños los controles sin TDAH. Los tiempos de reacción lentos y variables (RT's) en tareas rápidas son una característica prominente en el TDAH que cualquier teoría debe dar cuenta de ellos. Sin embargo, esto ha demostrado ser difícil porque los mecanismos cognitivos responsables de esto siguen sin explicación. Aunque la velocidad y la variabilidad se correlacionan normalmente no está claro si mecanismos simples o múltiples son responsables de las diferencias de grupo en cada uno. Los RT's son el resultado de varios procesos semi-independientes, incluyendo la codificación de estímulo, la velocidad de procesamiento de la información, la velocidad de descarga, la precisión de las compensaciones, y la respuesta motora que previamente no han sido adecuadamente caracterizada [2, 47].

El proceso se describe como "ruidoso" porque la actividad neuronal al azar sin relación con el proceso de decisión influye en la velocidad y la eficiencia con la que una persona es capaz de acumular información pertinente a la decisión misma. Finalmente, los procesos que no son directamente relacionada con la decisión de la respuesta, tales como la codificación de estímulo y preparación del programa motor, también influyen en el RT final y así debe ser modelada. Por lo que se propone que la variabilidad y velocidad de los RT en el TDAH necesitan una futura clarificación [47].

Bolfer, V, et. al. [48] al realizar pruebas computarizadas en una muestra de 23 pacientes con TDAH de sexo masculino y 50 niños controles encontraron un tiempo de reacción más lento. Resaltan que estos hallazgos podrían estar relacionados con problemas con el sistema atencional. Lo que impediría una adecuada capacidad de procesamiento sensitivo, perceptual y/o en el procesamiento de la reacción motora, para responder consistentemente durante actividades continuas o repetitivas.

Lee, I; Chen, Y y Tsai, Ch. [49] señalan que múltiples estudios sugieren que los niños con TDAH también muestran problemas relacionados al desempeño motor que envuelven la preparación motora, la toma de decisiones, la generación del programa motor, tiempo de reacción y la velocidad del movimiento. El flujo motor y el desempeño grafomotor. La motricidad fina y gruesa.

Conclusiones

Con el continuo avance de la neurociencia en el estudio del comportamiento humano hoy es posible correlacionar la comprensión del asiento neurológico del acto motor

con la importancia de la modulación del programa motor y la complejidad de los elementos cognoscitivos al momento de la ejecución del mismo.

En los niños puesto que el desarrollo de las funciones ejecutivas sigue un curso lento y progresivo, no ha de sorprendernos que su espectro de vulnerabilidad sea excepcionalmente amplio. El normal desarrollo de las funciones ejecutivas es crucial no sólo para el funcionamiento cognitivo como tal, sino también para el desarrollo social, afectivo y motor del niño.

A medida que maduramos, mostramos mayor capacidad para hacer frente a situaciones novedosas y adaptarnos a los cambios de forma flexible. Por lo tanto alteraciones tempranas en el desarrollo ejecutivo como el caso del TDAH limitan tal capacidad, lo que origina una cascada de consecuencias a corto, medio y largo plazo.

La evidencia recopilada en esta investigación muestra una sólida evidencia que los problemas ejecutivos en el TDAH (deficiencias que parten de una disfunción del sistema prefrontal) provocan dificultades con el control motor, la inhibición de respuestas, flexibilidad motora y preparación del programa motor, evidenciado por un rendimiento disminuido en el desempeño motor de los niños afectados en comparación con sus pares con desarrollo regular, demostrándose en tiempos de reacción más lentos o variables, y mayor número de errores en tareas que evalúan el control motor ante estímulos de inhibición.

Cabe indicar que se necesita aún más investigación para recopilar información sobre el control motor en niños con TDAH y su relación en el desempeño en tareas cotidianas lo que permitirá una intervención más real y efectiva a largo plazo.

Referencias

1. Rubiales, J; Bakker,L y Urquijo, S. : Estudio comparativo del control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva en niños con Trastorno de Atención e Hiperactividad. *Panamerican Journal Neuropsychology*. 7, 50 a 69 (2013).
2. Epstein, J., Hwang, M., Antonini, T., Langberg, J., Altaye, M. y Arnold, E.: Examining predictors of reaction times in children with ADHD and normal controls. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16, 138 a 147 (2010).
3. Hervey, A., Epstein, J., Curry, J., Tonev, S., Arnold, E., Conners, K., Hinshaw, S., Sawson, J. y Hechtman, L.: Reaction time distribution analysis of neuropsychological performance in an ADHD sample. *Psychology Press*, 12, 125 a 140 (2006).
4. Klotz, J., Johnson, M., Wu, S., Isaacs, K. y Gilbert, D.: Relationship between reaction time variability and motor skill development in ADHD. *Psychology Press*, 18, 576 a 585 (2012).
5. Poeta, L. y Rosa, F.: Evaluación motora en escolares con indicadores del trastorno por déficit de atención/hiperactividad. *Revista de Neurología*, 44, 146 a 149 (2007).
6. Vidarte, J., Ezquerro, M. y Giráldez, M.: Perfil psicomotor de niños de 5 a 12 años diagnosticados clínicamente de trastorno por déficit de

- atención/hiperactividad en Colombia. *Revista de Neurología*, 49, 69 a 75 (2009).
7. Curtis, H., Scheck, A. y Massarini, A. Curtis.: *Biología*. Panamericana, Buenos Aires. (2008).
 8. Rubio, M; Salazar, L y Rojas, A.: Habilidades motoras y de procedimiento que interfieren en la vida académica habitual de un grupo de estudiantes con signos y síntomas de TDAH. *Revista colombiana de Psiquiatría*, 43, 18 a 24. (2014).
 9. Carriedo, A.: Beneficios de la Educación Física en alumnos diagnosticados con Trastorno de atención con Hiperactividad (TDAH). *Journald of Sport and Health Research*, 6, 47 a 60. (2014).
 10. Muñoz, J., Palau, M., Salvadó, B. y Valls, A. *NEUROBIOLOGÍA DEL TDAH*. *Acta Neurol Colomb*. 22; 184 a 189 (2006).
 11. Fernández - Mayoralas, D., Frenández-Jaén, A., García-Segura, J. y Quiñones-Tapia, D. Neuroimagen en el trastorno por dpeficit de atención/hiperactividad. *Revista Neurología*, 50, 125 a 133 (2010).
 12. Catelan, S. Trastorno de déficit de atención e hiperactividad en la infancia y adolescencia desde la perspectiva de la neurobiología. *Trastorno de déficit de atenc~ao e hiperatividade na infância e adolescência pela perspectiva da neurobiologia*. *Revista Saúde e Pesquisa*, 385 a 391 (2010).
 13. Brossard, M; Majnemer, A y Sherell, M.: Exploring the neural mechanism that underline motor difficulties in children with ADHD. *Developmental Neurorehabilitation*. Vol. 14(2) 101 a 111 (2011).
 14. American Psychiatric Association (APA): *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fifth Edition (DSM-5)*.: American Psychiatric Association, Arlington. (2013).
 15. García, M., Prieto, L., Santos, L., Monzón, L., Hernández, A. y San Feliciano, L.: Trastorno por déficit de atención e hiperactividad: un problema actual. *Anales de pediatría*, 244 a 250 (2008).
 16. Rea, M.: *Guía de manejo cognitivo - comportamental para profesores y padres de niños con trastorno por déficit de atención con hiperactividad en edades de 5 a 8 años en etapa escolar (Tesis pregrado)*. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito (2007).
 17. Barragán, E., de la Peña, F., Ortiz, S., Ruiz, M., Hernández, J., Palacios, L. y Suarez, A.: Primer consenso latinoamericano de trastorno por déficit de atención e hiperactividad. *Medigraphic Artemisa en línea*, 326 a 343 (2007).
 18. Mora, L. (2011). *Prevalencia de hiperactividad y factores asociados en escolares Cuenca, 2011 (Tesis de especialidad médica)*. Cuenca: Universidad de Cuenca
 19. Barrat, E. y Slaughter, L.: Defining, measuring, and preducting impulsive aggression: a heuristic model. *Behavioral Sciences & the Law*, 285 a 302. (1998).
 20. Asociación Americana de Psiquiatría (APA): *Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales. DSM IV TR*. Masson, Barcelona (2002).
 21. Diamond, A.: Attention-deficit disorder attention-deficit hyperactivity disorder without hyperactivity: A neurobiologically and behaviorally

- distinct disorder from attention-deficit hyperactivity disorder with hyperactivity. *Development and Psychopathology*, 17, 807–825. (2005).
22. Suzuki, S., Garcia, M. y Soares, A.: O EQUILÍBRIO ESTÁTICO EM CRIANÇAS EM IDADE ESCOLAR COM TRANSTORNO DE DÉFICIT DE ATENÇÃO/HIPERATIVIDADE. *Fisioterapia em movimento*, 49 - 54. (2005).
 23. Vidarte, J., Vélez, C., Moscoso, O. y Restrepo, F.: MOTRICIDAD Y COGNICIÓN EN EL DÉFICIT DE ATENCIÓN E HIPERACTIVIDAD TDAH. *Revista ÁNFORA*, 125 - 149. (2010).
 24. DeVito, E., Blackwell, A., Clark, L., Kent, L., Dezsery, A., Turner, D., Aitken, M. y Sahakan, B. : Methylphenidate improves response inhibition but not reflection-impulsivity in children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD). *Psychopharmacology*, 531-539. (2009).
 25. Rommelse, N., Altkin, M., Oosterlaan, J., Beem, L., Buschgens, C., Buitelaar, J., y Sergeant, J. : Speed, variability, and timing of motor output in ADHD: Which measures are useful for endophenotypic research? *Behav Genet*, 121-132. (2008).
 26. Ben – Pazi, H; Gross – Tsur, V; Bergman, H y Shalev, R.: Abnormal rhythmic motor response in children with ADHD. *Developmental Medicine and Child Neurology*. Vol.45. 743 – 745. (2003).
 27. Cardo, E., Casanovas, S., de la Banda, G. y Severa, M.: Signos neurológicos blandos: ¿Tienen alguna utilidad en la evaluación y diagnóstico del trastorno por déficit de atención/hiperactividad? *Revista de Neurología*, S51 – S54. (2008).
 28. Reyes, A.: La implicación de la neurociencia en la ejecución gimnástica. *Sapiens, Revista Univeritaria de Investigación* , 179 - 201. (2009).
 29. Esparza, D., & Larue, J.: Interacciones cognitivo-motoras: el papel de la representación motora. *Revista de Neurología*, 46 (4), 219-224. (2008).
 30. López, J. y Fernández, A.: *Fisiología del Ejercicio*. Editorial Panamericana, Buenos Aires. (2013).
 31. Shumway - Cook, A. y Woollacott, M.: *Motor Control: translating research into clinical practice*. Wolters Kluwer: Philadelphia. (2010)
 32. Crammond, D.: Motor imaginery: never in your wildest dream. *Trends Neurosci*, 20, 54-57. (1997).
 33. Decety, J., & Grèzes, J.: Neural mechanism subserving the perception of human actions. *Trends Cogn Sci*, 3, 172-178. (1999).
 34. Gerardin, E., Sirigu, A., Lehericy, S., Poline, J., Gaymard, B., & Marsault, C.: Partially overlapping neural networks for real and imagined hand movements. *Cereb Cortex*, 10, 1093-1104. (2000).
 35. Luria, A.: *El cerebro en acción*. Barcelona: Editorial Martínez Roca. (1984).
 36. Penhune, V., & Doyon, J.: Dynamic cortical and subcortical networks in learning and delayed recall of timed motor sequences. *J Neurosci*, 22, 1397-1406. (2002).
 37. Norman, D. y Shallice, T.: Attention to action: willed and automatic control of behavior. In R. Davidson, G. Schwartz y D. Shapiro, *Consciousness and self-regulation*. Editorial Plenum Press: New York. (1986).

38. Flores, J y Ostrosky, F.: Neuropsicología de lóbulos frontales, funciones ejecutivas y conducta humana. *Revista de Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*. Vol. 8, 47 - 58. (2008)
39. García-Molina,A; Enseñat-Cantalops, A; Tirapu-Ustárroz, J y Roig-Rovira; T.: Maduración de la corteza prefrontal y desarrollo de las funciones ejecutivas durante los primeros cinco años de vida. *Revista Neurología*, 435 - 440. (2009).
40. Ardila, A y Ostrosky, F.: Desarrollo histórico de las funciones ejecutivas. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*.Vol.8, 11 - 21. (2008).
41. Bouisset, S. y Do, M-C.: Posture, dynamic stability, and voluntary movement. *Neuriphysologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 345 – 362. (2008).
42. Haines, D.: *PRINCIPIOS DE NEUROCIENCIA: aplicaciones básicas y clínicas*. Elsevier: Barcelona. (2014)
43. Gentier, I; Augustijn, M; Deforche,B; Tanghe, A; De Bourdeaudhuij, I; Lenoir, M; D’Hondt, E.: A comparative study of performance in simple and choice reaction time tasks between obese and healthy-weight children. *Research in Developmental Disabilities*. Vol. 34, 2635–2641. (2013).
44. Marini, A; Ars, J; Ferrer, S y Bonnet, C.: Tiempo de reacción: del cronoscopio a la teoría de ondas. *Psicothema*. Vol. (16) 149 - 155. (2004).
45. Mazaheri, A; Coffey-Corina, S; Mangun, G; Bekker,E; Berry, A y Corbett, B.: Functional Disconnection of Frontal Cortex and Visual Cortex in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Biol Psychiatry*. Vol. (67) 617 - 623. (2010).
46. Cole, W; Mostofsky, Gidley, J; Denckla, M y Mahone, E.: Age-related changes in motor subtle signs among girls and boys with ADHD. *Neurology*. Vol (71). 1514 – 1520. (2008).
47. Karalunas, S., Huang, C. y Nigg, J.: Decomposing ADHD - Related Effects in Response Speed and Variability. *Neuropsychology*. Vol. 26. 684 - 694. (2012).
48. Bolfer, V; Casella, EB; Baldo, MV; Mota, AM; Tsunemi, MH, Pacheco, SP y Reed, UC.: Reaction Time assessment in children with ADHD. *Archivos Neuropsiquiatr*. Vol. 68 (2). 282 - 286. (2010)
49. Lee, I; Chen, Y y Tsai,Ch. (2012) Kinematic performance of fine motor control in attention deficit/ hyperactivity disorder: The effects of comorbid developmental coordination disorder and core symptoms. *Japan Pediatrics International*.Vol (55) 24 - 29.