



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN TRANSDISCIPLINAR EN PSICOLOGÍA**

**“ANÁLISIS CONDUCTUAL Y ELECTROFISIOLÓGICO DE FUNCIONES
EJECUTIVAS EN ADOLESCENTES CON CAPACIDAD INTELLECTUAL
ALTA Y CAPACIDAD INTELLECTUAL MEDIA”**

TESIS

Que para obtener el grado de Doctor en Psicología

PRESENTA

MARÍA ELENA VICTORIA OROZCO ZEVADA

DIRECTOR DE TESIS

DRA. MARÍA DE LA CRUZ BERNARDA TÉLLEZ ALANÍS

COMITÉ REVISOR

DR. VÍCTOR MANUEL PATIÑO TORREALVA

DRA. DORIS CASTELLANOS SIMONS

DRA. GABRIELA LÓPEZ AYMES

DRA. ADELA HERNÁNDEZ GALVÁN

DR. BRUNO LARA GUZMÁN

DRA DIANA ARMIDA PLATAS NERI

Cuernavaca, Morelos a 6 de julio de 2018

ÍNDICE

CAPÍTULO 1- ANTECEDENTES	12
Funciones Ejecutivas	12
Modelo de Tres Factores (Miyake et al, 2000).....	20
Modelo de Funciones Ejecutivas de Bajo y Alto Nivel (Diamond 2013)	22
Sustrato Anatómico y neurodesarrollo de las Funciones Ejecutivas.....	27
Capacidad Intelectual	32
Modelo de Inteligencia Exitosa	34
Capacidad Intelectual y Funciones ejecutivas.....	38
Análisis Electrofisiológico de la Actividad Cerebral	40
Potenciales Relacionados a Eventos (PREs)	42
Componentes de los PREs asociados a procesos cognitivos	46
Memoria de trabajo y PREs.....	48
Potenciales Relacionados a Eventos y Capacidad intelectual alta.....	53
CAPÍTULO 2- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	56
Objetivo General.....	56
Objetivos Específicos	57
Hipótesis.....	57
Justificación.....	57
Definición Operacional de Variables	59
Capacidad intelectual.	59
Inhibición de respuestas.	59
Memoria de trabajo.	60
Planeación.	60
CAPÍTULO 3-MÉTODO	61

Diseño y Tipo de Estudio.....	61
Participantes.....	61
Instrumentos.....	63
Test de matrices progresivas de Raven.	65
Batería de evaluación de la inteligencia Cervantes.....	63
Paradigma experimental <i>Stop Signal</i> (Señal de Alto).....	66
Paradigma experimental tipo N-Back.....	67
Torre de Londres modificada.....	70
Registro electrofisiológico.....	72
Procedimiento.....	72
Análisis de Datos	74
CAPÍTULO 4-RESULTADOS.....	76
Datos Conductuales	76
Capacidad intelectual.....	76
Inhibición de respuestas preponderantes.....	76
Memoria de trabajo.....	77
Planeación.....	80
Datos electrofisiológicos.....	80
CAPÍTULO 5- DISCUSIÓN	83
REFERENCIAS	89

INTRODUCCIÓN

La inteligencia humana ha sido objeto de estudio de numerosas disciplinas, como la filosofía, la psicología, la pedagogía o la psicometría entre otras. En las últimas décadas las neurociencias cognitivas han contribuido para comprender un poco mejor sobre la relación entre la actividad cerebral y la inteligencia.

Estas investigaciones han descubierto que hay funciones cognitivas relacionadas con la inteligencia. La actividad de la corteza prefrontal, que es la región cerebral que apareció al final en el proceso evolutivo y que es la que más tarda en alcanzar su máximo desarrollo, es responsable de distintas funciones, entre las que se encuentran las funciones ejecutivas. El comportamiento inteligente también se ha asociado con la corteza prefrontal. Durante un tiempo se consideró que los lóbulos frontales eran los portadores del pensamiento abstracto (Goldstein, 1944).

La corteza prefrontal se relaciona con el conjunto de funciones ejecutivas (FE), término atribuido a Lezak (1982) quien las definió como “Capacidades para formular y alcanzar metas mediante la planeación y acciones efectivas”. Los modelos teóricos contemplan el control de la atención y del comportamiento, así como la memoria de trabajo, la inhibición y la flexibilidad entre otras (Baddeley & Hitch, 1974; Barkley, 1997; Norman & Shallice, 1986; Sohlberg & Mateer, 2001; Stuss & Benson, 1986)

Debido a la relación entre la actividad prefrontal con la inteligencia y con las funciones ejecutivas, se ha considerado que existe una relación entre ambos constructos. Para demostrar esta relación entre la inteligencia humana y las funciones ejecutivas existen propuestas en sentidos contradictorios, hay quienes afirman que el razonamiento es una

función ejecutiva (Diamond, 2013) y quienes consideran que no existe relación entre ambos constructos (Damasio, 1994). En una posición intermedia hay investigaciones que consideran que hay una relación clara entre ambos constructos pero que no son intercambiables y que no todas las FE están relacionadas con la inteligencia (Friedman, Miyake, Corley, Young, Defries & Hewitt, 2006).

Dentro de las teorías sobre la inteligencia se encuentra la propuesta de Catell de la inteligencia fluida y la inteligencia cristalizada, la primera se refiere a la capacidad para adaptarse y afrontar situaciones nuevas sin contar con el apoyo de experiencias anteriores que permitan al individuo resolver un problema. La inteligencia cristalizada consiste en el conjunto de capacidades, estrategias y conocimientos que un individuo alcanza mediante el aprendizaje (Catell, 1963, 1971, 1984).

Diferentes estudios han establecido relación entre las funciones ejecutivas y la inteligencia fluida pero no entre las funciones ejecutivas y la inteligencia cristalizada. Un ejemplo de ello lo representan las investigaciones de Damasio (1994), las cuales revelan que pacientes con lesiones frontales que presentaban problemas ejecutivos tuvieron un desempeño normal en pruebas de inteligencia cristalizada pero fallaron en pruebas de inteligencia fluida.

Estos estudios han mostrado que existe una relación entre las FE y la inteligencia fluida basados en que ambos constructos se asocian a las regiones de la corteza prefrontal (Cole, Yarkoni, Repovs, Anticevic & Braver, 2012; Gray, Chabris & Braver, 2003). Esto se ha podido observar en pacientes con daño frontal que mostraron deficiencias en las pruebas de inteligencia fluida pero no en las de inteligencia cristalizada (Duncan, Burgess & Emslie, 1995).

Otras investigaciones corroboran que existe una relación entre las FE y el comportamiento inteligente. Esta afirmación está basada en que el funcionamiento ejecutivo concentra una serie de mecanismos de autorregulación que son fundamentales para realizar procesos adaptativos y de control en operaciones cognitivas, necesarios también para realizar operaciones abstractas que son parte de la inteligencia humana (Arffa, 2007; Friedman, Miyake, Corley, Young, Defries & Hewitt, 2006).

La resolución de problemas es una de las metas de la inteligencia humana y también se considera la meta de FE como la planeación, la organización del tiempo y las capacidades para llevar a cabo el plan de manera eficiente (Lezak, 1982). El proceso para resolver un problema requiere del autocontrol sobre las acciones que se realizan, las cuales consitiuyen la base orientadora para la planificación de las mismas (Tsvetkova, 1999). Para Tsvetkova la actividad intelectual se sostiene del conjunto de las funciones psíquicas superiores entre las cuales se encuentran aquellas relacionadas con el procesamiento de la información, la actualización de los conocimientos que se tienen y la consolidación de conocimientos nuevos para su aplicación a la resolución de la tarea planteada. Por lo tanto la actividad intelectual requiere de funciones ejecutivas como la inhibición de respuestas y de impulsos, la planeación, la memoria de trabajo y la flexibilidad.

Estudios conductuales han encontrado relación entre algunas FE y la inteligencia. Tal es el caso de los trabajos realizados por Friedman, Miyake, Corley, Young, Defries y Hewitt (2006), quienes encontraron una correlación de 0.74 entre la memoria de trabajo y las subpruebas de inteligencia fluida de la escala de Wechsler para adultos y de 0.79 entre la memoria de trabajo y las subpruebas de inteligencia cristalizada de la escala de Wechsler para adultos en un grupo de estudiantes universitarios. Otros estudios realizados por Salthouse, Fristoe, McGuthry y Hambrick (2003) encontraron una correlación de 0.69 con

entre la inhibición y tareas de inteligencia fluida en adultos mayores. En el mismo sentido Dempster (1991, 1993) encontró relaciones entre la escala de inteligencia de Wechsler y tareas de inhibición tanto en población infantil como en adultos de diversas edades.

En el campo de las neurociencias también se ha estudiado la relación entre los dos constructos que nos ocupan, como los estudios realizados por Reiss, Abrams, Singer, Ross y Dencka (1996), quienes encontraron una correlación positiva entre la cantidad de materia gris en la corteza prefrontal y el cociente intelectual. Estas afirmaciones fueron corroboradas por otro estudio realizado por Anderson et al., (1993) en el cual se encontraron correlaciones significativas entre el CI y muchas de las estructuras que se midieron (Andreasen, N., Flaum, M., Swayze, V., O'Leary, D., Alliger, R. Cohen, G., Ehrhardt, J. & Yuh, W., 1993).

Uno de los investigadores que ha relacionado directamente las FE con la inteligencia en su modelo teórico sobre la misma es Sternberg (1985) en su teoría triárquica y en su teoría de inteligencia exitosa (1996). En dicha teoría Sternberg define la inteligencia como “la actividad mental dirigida a la adaptación intencional, selección o transformación del entorno, relevantes en la propia vida”. Sternberg asocia el funcionamiento mental con procesos de alto orden a los que llamó metacomponentes. Dichos procesos son utilizados por los individuos inteligentes de manera efectiva para planear, controlar y evaluar la solución de problemas. La definición se acerca de manera importante a lo que se entiende por funciones ejecutivas.

En el estudio de la relación entre FE e inteligencia es importante destacar que las FE ejecutivas no se encuentran completamente desarrolladas en la infancia. Las investigaciones sobre el desarrollo de las FE describen un progreso secuencial de las habilidades ejecutivas que coinciden con el desarrollo del lóbulo frontal (Welsh,

Pennington & Groisser, 1991). Estas revelaciones indican que las regiones frontales y la corteza prefrontal específicamente, participan de manera importante en el funcionamiento ejecutivo. Sin embargo no es posible aislar estas regiones debido a su interacción con regiones posteriores y subcorticales. Desde una perspectiva cognitiva, el desarrollo de las FE está estrechamente relacionado con la aparición gradual de otras capacidades cognitivas como el lenguaje (Luria, 1973; Tatcher, 1991;1992).

El desarrollo de los lóbulos frontales involucra una serie de procesos dinámicos controlados por aspectos genéticos y estimulación ambiental (Anderson, Jacobs & Anderson, 2008), las FE se manifiestan desde edades tempranas con las habilidades más básicas y mejoran continuamente hasta desarrollar herramientas de alta complejidad (Senn, Espy y Kauffman, 2004). La interacción del niño con el medio ambiente y el efecto del aprendizaje se manifiesta conductualmente como un progreso en el funcionamiento ejecutivo que refleja el desarrollo de las áreas frontales (Anderson et al., 2008; Casey, Giedd, & Thomas, 2000).

El estudio de las FE durante el desarrollo ha revelado que la inhibición de respuestas preponderantes y la memoria de trabajo están presentes desde edades tempranas (Miyake, Friedman, Emerson, Alexander & Howerter, 2000). Según Diamond (2006), la inhibición aparece alrededor de los cuatro años de forma incipiente y mejora a lo largo de la infancia. Los niños de seis años son capaces de tener en consideración dos reglas para inhibir una respuesta preponderante (Diamond, Kirkham & Amso, 2002).

Los estudios sobre inteligencia utilizan como medida la capacidad intelectual, que puede expresarse en el cociente intelectual (CI) como en el caso de la escala de inteligencia de Wechsler (1939) o de la Batería para Evaluación de Inteligencia Cervantes (García-

Pérez, 2009) que miden diferentes tipos de inteligencia, o en percentiles, como es el caso del test de matrices progresivas de Raven (1938) que mide inteligencia fluida.

En trabajos con adolescentes Arffa (2007) estudió el desempeño en tareas que involucran funciones ejecutivas y funciones no ejecutivas con sujetos con capacidad intelectual alta (CIA) y con sujetos con una capacidad intelectual por debajo del promedio. Encontró que los jóvenes con capacidad intelectual alta tuvieron un desempeño superior en tareas con funciones ejecutivas pero no en las pruebas de otras funciones. Evaluó atención, flexibilidad, y fluidez en 45 adolescentes entre 13 y 18 años. Las funciones no ejecutivas que evaluó fueron la memoria verbal y la memoria visoespacial.

En años recientes y con los avances de las técnicas de neuroimagen funcional, las investigaciones se han encaminado a encontrar las diferencias que pueden existir entre los niños con capacidad intelectual alta y los demás. Se ha descubierto que pueden aprender de manera más rápida y eficiente que otros debido a lo que se presumen diferencias en la eficiencia neuronal (Geake, 2009; Geake & Dodson, 2005). Igualmente se ha revelado que presentan gran interconectividad entre diferentes áreas cerebrales, especialmente en las áreas frontales (Geake, 2007; Tongran, 2008).

En estudios sobre el funcionamiento neuronal de niños con capacidad intelectual alta comparándolo con personas de la misma edad que no han sido identificados como tales se ha encontrado que los niños con CIA presentan una mayor activación frontal inter-hemisférica con una mayor conectividad funcional (Geake, 2009). Diferentes investigadores han relacionado la inhibición, la flexibilidad y la memoria de trabajo con la inteligencia (Barkley, Edwards, Laneri, Fletcher & Metevia, 2001; Brocki & Bohlin, 2004; Diamond, 2006; Diamond & Lee, 2011; Friedman, Miyake, Corley, Young, Defries &

Hewitt, 2006; Isquith, Goia & Espy, 2004; Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter & Wager, 2000).

Se han encontrado diferencias en la inhibición de respuestas entre niños con CIA y niños con capacidad intelectual media (CIM) en estudios realizados con PREs durante la ejecución de tareas de tipo *Go/NoGo* (Xiaoju, Jiannong, Jianhui, Yi, Hirong, Guiqing, 2009).

Estos ejemplos indican que las personas con capacidad intelectual alta presentan un funcionamiento ejecutivo más eficiente en algunas tareas de este tipo a pesar de que no se han evaluado de manera conjunta la inhibición, la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva y de que hay evidencias de que no todas las funciones ejecutivas están relacionadas con la inteligencia (Miyake et al., 2000).

Estudios realizados con PREs en niños de 10 a 12 años con CIA han revelado que muestran una mayor velocidad de reacción comparada con el grupo de CIM durante una tarea de rastreo visual (Zhang, Shi, Luo, Zhao & Yang, 2006). Según los autores, la diferencia entre los dos grupos parecen ser tanto de la habilidad para procesar la información relevante como para inhibir la información irrelevante y las respuestas inapropiadas (Johnson, Im-Bolter & Pascual-Leone, 2003).

Las funciones ejecutivas que se evalúan con mayor frecuencia mediante PREs son la memoria de trabajo (Ruchkin, Johnson, Grafman, Canoune & Ritter, 1992), la inhibición (Garavan, Ross, Murphy, Roche & Stein, 2002; Jonkman, Lansbergen & Stauder, 2003), el monitoreo del conflicto (Garavann et al., 2002; Nieuwenhuis, Yeung, Ven Den Wildenberg & Ridderinkhof, 2003) y el cambio atencional (Kieffaber & Hetrick, 2005). Debido a que los lóbulos frontales alcanzan su desarrollo pleno en la etapa adulta, la mayoría de estos

estudios se han realizado con adultos pero existen pocos estudios sobre el estado de las FE en adolescentes.

A pesar de que la inteligencia es inherente al ser humano y su definición por excelencia, existen diferencias en los grados de inteligencia que marcan diferencias entre las capacidades para desarrollar habilidades intelectuales. La inteligencia humana se manifiesta en distintos ámbitos y momentos, lo cual dificulta establecer medidas que permitan incluir la riqueza de la inteligencia. La capacidad intelectual es una medida de la inteligencia que proviene de la psicometría y que permite cuantificar los niveles de inteligencia y establecer diferencias entre los grupos, por lo que se utilizará como medida de inteligencia en el presente trabajo.

Como se ha podido observar, existe una relación entre las FE y la inteligencia pero aun quedan muchas preguntas por responder, en especial para saber cuáles son las FE que se relacionan con la capacidad intelectual. En el presente trabajo se evaluarán tres funciones ejecutivas de manera conductual: Inhibición de respuestas preponderantes, memoria de trabajo y planeación. Se utilizarán PREs para evaluar la memoria de trabajo.

Para el registro conductual se utilizarán los paradigmas experimentales *Stop signal* (Señal de alto), *N-Back* con tres niveles de dificultad y la Torre de Londres modificada (Ocampo & Téllez, 2015). Para el registro electrofisiológico de memoria de trabajo se utilizará el paradigma *N-Back* con dos niveles de dificultad.

La presente investigación aportará datos en el estudio neuropsicológico de las funciones ejecutivas de los adolescentes con distinta capacidad intelectual y contribuirá a entender mejor la relación entre la capacidad intelectual y las funciones ejecutivas, lo cual permitirá avanzar en la comprensión de la naturaleza de las diferencias en la inteligencia humana.

CAPÍTULO 1- ANTECEDENTES

Funciones Ejecutivas

Las funciones ejecutivas (FE) son herramientas cognitivas de control que permiten formular metas, planear, llevar a cabo el plan mediante acciones efectivas y alcanzar la meta (Lezak, 1982). Este control, propio del ser humano permite la autorregulación de la conducta y la inhibición de los impulsos dictados por el aprendizaje dentro de la interacción social, los cuales son parte fundamental para las relaciones humanas. Lezak (1995) afirma que cuando las FE se encuentran comprometidas se compromete la capacidad de la persona para ser autosuficiente, independiente y tener una vida socialmente productiva aun cuando las demás funciones se encuentren intactas.

En los últimos años del siglo XIX y principios del siglo XX se documentaron problemas de conducta en casos de patología frontal, los cuales fueron conocidos como síndrome del lóbulo frontal. Feuchtwanger publicó en 1923 una monografía en la que reportó observaciones de más de 200 pacientes con daño frontal y los comparó con un grupo control. Sus conclusiones fueron que los lóbulos frontales “constituyen el centro que preserva el balance mental”. Feuchtwanger correlacionó la patología frontal con funciones distintas a la memoria, el lenguaje o problemas sensoriomotores. Hizo énfasis en los cambios de personalidad, trastornos en la motivación, en la afectividad y en la capacidad para regular otras conductas (Fleminger, 2008).

El término de síndrome frontal fue modificado en 1986 por Baddeley al de síndrome disejecutivo debido a que las funciones ejecutivas son parte de las funciones frontales pero existen funciones frontales que no son ejecutivas, por lo que no pueden considerarse

equivalentes. Durante las últimas décadas se han incorporado diferentes funciones al sistema ejecutivo, lo cual dio paso a diferentes modelos teóricos. En las primeras cuatro décadas del siglo XX se realizaron descripciones detalladas de la arquitectura de las regiones prefrontales. La segunda guerra mundial provocó que existieran muchos pacientes con daños focales y patología del lóbulo frontal, que fueron ampliamente estudiados.

Goldstein (1944) incluyó entre las funciones del lóbulo frontal la actitud abstracta, la iniciación y flexibilidad mental. Estas tres funciones se consideran funciones ejecutivas relacionadas con la corteza prefrontal (Stuss & Alexander, 2000).

Luria (1969) relacionó la actividad de los lóbulos frontales con la programación de la conducta motora, inhibición de respuestas inmediatas, abstracción, resolución de problemas y regulación de la conducta, así como la integridad de la personalidad y consciencia, fue el primero en reportar una serie de habilidades relacionadas con la iniciativa, la motivación, la formulación de planes de acción y metas, así como el control de la propia conducta (Luria, 1966, 1969).

En sus observaciones Luria encontró que los pacientes que mostraron dificultades en estas habilidades presentaron también lesiones en el lóbulo frontal, especialmente en la región prefrontal. Ubicó a la corteza prefrontal en la tercera unidad funcional del cerebro, la cual consideró la más importante para el funcionamiento ejecutivo.

Lezak (1982) definió las funciones ejecutivas como las capacidades mentales indispensables para formular metas, planear cómo alcanzarlas, llevar a cabo acciones de manera efectiva y alcanzar la meta. Reunió estas funciones ejecutivas en componentes relacionados con los que Luria había nombrado anteriormente como la capacidad para formular metas y las estrategias de planificación para alcanzar objetivos mediante acciones eficaces.

Baddeley (1986) consideró que las funciones ejecutivas incluían la planificación, la organización de conductas, inhibición, flexibilidad cognitiva, fluidez verbal e iniciación. Propuso el término “síndrome disejecutivo” para identificar conductas que incluían problemas de planeación y organización, desinhibición, perseveración y disminución en la fluidez así como dificultades en la iniciación.

Stuss y Benson (1986) consideraron que las funciones ejecutivas se representan diferentes capacidades que permiten un comportamiento intencionalmente dirigido a una meta, incluyendo la regulación de la conducta, la memoria de trabajo, planeación y herramientas para organizar y monitorear la propia conducta.

Entre las funciones ejecutivas Denckla (1996) incluye la habilidad para filtrar información irrelevante en la consecución de una meta o que causa interferencia en la realización de una tarea, la capacidad de anticipar las consecuencias de las acciones y el concepto de flexibilidad mental, así como las conductas éticas y la autoconciencia.

Burgess (1997) define a las funciones ejecutivas como una serie de procesos involucrados en la actividad humana, tales como la resolución de problemas, planeación, iniciación de la actividad y memoria prospectiva. Afirma que están compuestas por una serie de procesos que tienen como principal objetivo facilitar la adaptación a situaciones nuevas. Su funcionamiento se lleva a cabo a través del control de habilidades cognitivas básicas o rutinas automatizadas por medio de la repetición. Están presentes en la formación y el desarrollo de habilidades motoras y cognitivas como la lectura, la memoria y el lenguaje.

En los últimos años del siglo XX y principios del siglo XXI otros autores proponen nuevos aspectos en la definición de funciones ejecutivas. Elliot (2003) afirma que el funcionamiento ejecutivo es un proceso complejo que requiere la coordinación de varios

subprocesos para lograr un objetivo particular y define la función ejecutiva como un constructo que “comprende habilidades centrales reguladoras que orquestan procesos básicos o de dominio específico con el fin de lograr un objetivo flexiblemente” (Elliot, 2003).

Lezak, Howieson y Loring (2004) redefinen a las funciones ejecutivas como las operaciones cognitivas más complejas del ser humano debido a que participan en el control, la regulación y la planeación eficiente de la conducta humana. Permiten también que el sujeto pueda presentar exitosamente conductas independientes, productivas y útiles para la sociedad y para sí mismos. Han sido conceptualizadas con cuatro componentes: volición, planeación, acción propositiva y desempeño efectivo.

El funcionamiento ejecutivo ha sido objeto de investigaciones desde diferentes perspectivas, dando como resultado una serie de modelos explicativos que han proporcionado mejores herramientas para su comprensión y evaluación. Si bien no existe un consenso general que permita generar un modelo único, los investigadores están de acuerdo en que el funcionamiento ejecutivo se relaciona con el control, ya sea el de la atención, la memoria o la conducta. En la tabla No. 1 se detallan las funciones ejecutivas que han sido incluidas en los modelos que surgieron en las últimas décadas.

Tabla 1.

Modelos de funciones ejecutivas en adultos de 1982 a 2001

Autor	Año	Funciones Ejecutivas
Lezak	1982	Memoria de trabajo, planeación, motivación, atención sostenida, mantenimiento, autorregulación, alerta consiente, análisis, toma de decisiones, abstracción, iniciar-detener.
Norman y Shallice	1986,	Formulación de metas, resolución de problemas, generación de

	1996	estrategias, demora de respuesta, memoria de trabajo, monitoreo.
Stuss y Benson	1986	Formulación de metas, planeación, monitoreo, anticipación.
Butterfield y Albertson	1995	Monitoreo, metacognición, control.
Denckla	1996	Planeación, iniciación, secuenciación, inhibición, memoria de trabajo prospectiva, administración del tiempo.
Hayes, Gifford y Ruckstuhl	1996	Planeación, mantenimiento, autorregulación, monitoreo, metacognición, inhibición.
Barkley	1997	Memoria de trabajo, memoria prospectiva, lenguaje, motivación, alerta consciente, afecto autodirigido, autorregulación, inhibición, control motor, flexibilidad, fluidez.
Sohlberg y Mateer	2001	Formulación de metas, memoria de trabajo, planeación, alerta consciente, autorregulación, metacognición, inhibición, administración del tiempo, flexibilidad, fluidez, generación de ideas.

Los modelos revisados dan cuenta de cómo se ha modificado la visión desde la función ejecutiva unitaria hasta la concepción de un conjunto de componentes que forman el grupo de funciones ejecutivas que trabajan conjuntamente, es decir, un sistema ejecutivo complejo.

A pesar de las diferencias entre los modelos, existen coincidencias en las funciones ejecutivas que se incluyen en varios de ellos. Entre las FE que se incluyen en más de un modelo se encuentra la memoria de trabajo, contemplada por siete de los modelos (Barkley, 1997; Denckla, 1996; Lezak, 1982; Norman & Shallice, 1986, 1996; Sohlberg & Matter, 2001). La planeación se incluye en seis de los modelos revisados (Denckla, 1996; Hayes et al., 1996; Lezak, 1982; Sohlber & Mateer, 2001; Stuss & Benson, 1986).

El modelo de Lezak es el único que considera dentro del grupo de funciones ejecutivas la atención sostenida, el análisis, la toma de decisiones, la abstracción y la capacidad para iniciar y detener una respuesta. Esta última función es equivalente a la inhibición, que aparece en todos los modelos que siguieron a Denckla (1996).

Dentro del grupo de funciones ejecutivas existen algunas que son propuestas únicamente en un modelo, como es el caso de Stuss y Benson (1986), quienes proponen la anticipación, otro ejemplo es la propuesta de Norman y Shallice (1996) que en la actualización de su modelo consideran la resolución de problemas, la generación de estrategias y la demora de la respuesta. La memoria prospectiva únicamente es contemplada por Denckla (1996) y por Barkley (1997). Denckla propone también la secuenciación. La metacognición aparece con Hayes et al., (1996) y es retomada por Barkley (1997).

Las investigaciones de las últimas décadas consideran como funciones ejecutivas la administración del tiempo, la flexibilidad y la fluidez (Barkley, 1997; Sohlberg y Mateer, 2001; Dawson y Guare, 2004). El modelo de Barkley (1997) es el único que considera el afecto autodirigido como parte de las funciones ejecutivas, lo cual es muy importante porque el control de los impulsos y las emociones no ha sido considerado por los demás autores.

En esta revisión de modelos se ha encontrado que todos ellos han sido propuestos a partir del estudio con adultos. Se pueden distinguir cuatro grupos de modelos. Por una parte los modelos que provienen del estudio con pacientes con daño cerebral, en el segundo grupo se encuentran los modelos que consideran únicamente una función, como es el caso la memoria de trabajo de Baddeley y Hitch (1974) y del sistema atencional supervisor de Norman y Shallice (1986).

El tercer grupo de modelos proviene de la psicología cognitiva y conductual como el modelo de procesamiento de información de Butterfield y Albertson (1995). Por último se encuentra el grupo de modelos jerárquicos como el modelo de Stuss y Benson (1986). Los modelos han sido hechos con adultos debido a que se pensaba que las funciones ejecutivas no estaban presentes en la infancia y adolescencia temprana porque el lóbulo frontal no había alcanzado su desarrollo pleno a esas edades.

Sin embargo nuevos estudios han revelado que algunas funciones ejecutivas se desarrollan durante la infancia y que se encuentran totalmente desarrolladas en la adolescencia media. Asimismo existen otras funciones que pueden verse de manera incipiente al final de la infancia y se desarrollan por completo en la vida adulta (Anderson, Jacobs & Anderson, 2008).

El interés por estudiar las funciones ejecutivas durante el desarrollo ha aumentado progresivamente desde que se ha comprobado que algunas de ellas hacen su aparición desde edades tempranas. Si bien es cierto que se cuenta con una gran variedad de estudios sobre este tema, no ha sido posible un planteamiento básico sobre el desarrollo desde la primera infancia a la adolescencia debido a que los estudios se enfocan específicamente en períodos determinados. Esta situación tiene como consecuencia que se cuente con estudios profundos sobre momentos específicos en el desarrollo pero no con un panorama completo (Best, Miller & Naglien, 2001).

Diferentes investigaciones encontraron tres funciones ejecutivas consideradas fundamentales: flexibilidad atencional, control inhibitorio y memoria de trabajo, las cuales se consideran nucleares en la infancia y constituyen el modelo de tres factores de Miyake et al., (2000). El desempeño de los niños en las tareas que se les presentaron sugieren la diferenciación de estos componentes desde temprana edad.

Más adelante Lehto et al., (2003) encontraron que el modelo de tres factores se ajusta al desempeño de los niños entre 8 y 13 años (Best & Miller, 2010). Por otra parte Huizinga, Dolan y Van der Molen (2006) encontraron sustento parcial de que el modelo de tres factores en cuanto a la memoria de trabajo y la flexibilidad pero no para el control inhibitorio.

Miyake (2009) encontró resultados similares en adultos. Estos resultados indican que el modelo fue consistente en grupos de niños y de adultos, lo cual sugiere la estabilidad de las funciones ejecutivas desde la edad escolar, la adolescencia y la adultez temprana (Best & Miller, 2010).

No obstante la relativa estabilidad de las funciones ejecutivas, no puede obviarse la evidencia de que existen diferencias en las distintas edades. Garon, Bryson y Smith (2008) describieron los rápidos avances que suceden en la infancia temprana en diferentes respuestas de progresiva complejidad durante la ejecución de tareas de control inhibitorio. Estos estudios revelaron diferencias en el grado de habilidad para resolver las tareas de acuerdo con la edad. Los avances en la ejecución de tareas continuaron hasta la pre-adolescencia.

Los modelos del funcionamiento ejecutivo en el desarrollo contemplan tres funciones centrales que están presentes en los niños desde etapas tempranas y funciones que aparecen más adelante. En el presente trabajo se contemplaron dos modelos del funcionamiento ejecutivo. Ambos tienen como funciones centrales a la inhibición, la memoria de trabajo y la flexibilidad.

Modelo de Tres Factores (Miyake et al., 2000)

El modelo contempla tres funciones ejecutivas centrales: El cambio entre operaciones mentales o tareas, conocido como cambio atencional o flexibilidad, la memoria de trabajo y la inhibición de respuestas preponderantes (Miyake et al., 2000). En estudios con adultos estas funciones ejecutivas han sido consideradas importantes por Baddeley (1992), Logan (1994), Lyon & Krasnegor (1996), Rabbit (1997) y Smith & Jonides (1999) entre otros.

La flexibilidad consiste en cambiar el foco atencional y modificar la respuesta entre tareas cuando las condiciones cambian. Este proceso involucra desengancharse de una tarea irrelevante o ineficaz y engancharse con otra tarea relevante o eficaz en la resolución de un problema. Esta función es parte integral de la capacidad para el pensamiento creativo que permite abordar un problema desde diferentes perspectivas y ajustar los cambios rápidamente a las demandas o prioridades (Diamond, 2014).

El término de memoria de trabajo (MT) se atribuye a la propuesta de Miller, Galanter y Pribram (1960), más adelante Baddeley y Hitch propusieron su modelo de memoria de trabajo (1974). El término se ha utilizado en la psicología cognitiva (Newell & Simon, 1972), en estudios sobre el aprendizaje de primates (Olton, 1979) y finalmente ha sido adoptado para referirse a un sistema que involucra el mantenimiento y manipulación de la información durante la ejecución de una tarea (Baddeley, 2002).

El modelo de memoria de trabajo propuesto por Baddeley y Hitch (1974), y reelaborado después por Baddeley (1986, 1992, 1996, 2002) propone que la memoria a corto plazo no depende únicamente de un sistema, sino de varios sistemas de memoria. La memoria de trabajo es una función ejecutiva que participa de otros procesos ejecutivos

como el control ejecutivo, el control atencional y la organización de la información de la planeación (Fuster, 2008).

La memoria de trabajo contempla su actualización y monitoreo, lo cual va más allá del mantenimiento de la información porque requiere de una manipulación dinámica del contenido de la memoria de trabajo (Smith & Jonides, 1999), que es crítico para que lo que ocurre en el momento tenga sentido.

La inhibición de respuestas preponderantes es la habilidad para inhibir deliberadamente respuestas dominantes, automáticas o prepotentes cuando es necesario. Logan (1994) la llamó “un acto de control generado internamente” relacionado con la actividad del lóbulo frontal. El término inhibición se utiliza generalmente para describir funciones con diversos niveles de complejidad, que pueden ser demorar, inhibir o detener una respuesta en curso de manera deliberada ante una condición nueva o necesaria (Miyake et al., 2000).

Este modelo constituye una propuesta integradora sobre el funcionamiento ejecutivo en los niños y adolescentes. Los análisis factoriales llevados a cabo por Lehto et al., (2003) encontraron que el modelo de tres factores provee los mejores datos para niños de 8 a 13 años. Lo más importante del modelo es que es consistente a través de los grupos de edad desde la infancia hasta la adolescencia. Esto sugiere la estabilidad de las funciones ejecutivas a través de la infancia, la adolescencia y la adultez temprana.

El modelo de tres factores es una base sólida en el estudio de las funciones ejecutivas y las investigaciones posteriores han confirmado sus propuestas, las cuales han sido corroboradas por otros investigadores y han llegado a la conclusión de que la inhibición de respuestas, la memoria de trabajo y la flexibilidad son fundamentales para el

sistema ejecutivo, que tienen gran estabilidad y que se encuentran presentes desde la infancia.

Sin embargo el modelo no propone funciones más complejas que emergen en la infancia tardía y en la adolescencia, las cuales contribuyen para que el niño transite hacia lo que Piaget llamó el estadio del pensamiento formal que coincide con este periodo de edad (Piaget, 1963). Debido a que el grupo de estudio consiste en adolescentes entre los 12 y los 15 años, se eligió adicionalmente el modelo de Bajo y Alto nivel de Diamond (2013) que permitirá una mejor comprensión del funcionamiento ejecutivo en relación con la inteligencia humana en adolescentes de 12 a 15 años de edad con diferente capacidad intelectual.

Modelo de Funciones Ejecutivas de Bajo y Alto Nivel (Diamond 2013)

El modelo parte de las tres funciones ejecutivas y propuestas por Miyake et al., (2000) sobre las cuales existe un acuerdo general de que son centrales en el funcionamiento ejecutivo durante el desarrollo (Anderson, 2002; Anderson, 2001; Davidson, Amso, Anderson & Diamond, 2006; Diamond, 2006; Lehto, et al., 2003; Miyake et al., 2000). El modelo de alto y bajo nivel agrega tres funciones que considera más complejas y que aparecen en la adolescencia.

Al igual que en el modelo de tres factores contempla como funciones de bajo nivel la inhibición, la memoria de trabajo y la flexibilidad y agrega la resolución de problemas, la planeación y el razonamiento como funciones ejecutivas de alto nivel. La autora define las funciones ejecutivas como un conjunto de procesos mentales necesarios para que el niño pueda prestar atención, seguir instrucciones, aplicar lo que ha aprendido, pensar en

soluciones creativas, obedecer normas sociales, construir un plan, mantener en mente los que sucedió para entender lo que sucede en el momento y muchas otras actividades de su vida (Diamond, 2014; Diamond & Lee, 2011).

El control inhibitorio o inhibición permite tener una predisposición interna o externa para hacer lo apropiado y dejar de hacer lo inapropiado, para no decir lo primero que viene a la mente por ser inadecuado o grosero. Finalmente involucra aspectos del auto-control para retrasar una gratificación (Mischel, Shoda & Rodríguez, 1989). Otro aspecto de la inhibición es la atención selectiva, que consiste en inhibir la atención a cosas irrelevantes, permite que el niño mantenga la atención focalizada a pesar de las distracciones (Diamond, 2006; 2013; 2014).

El control inhibitorio es un gran reto para los niños porque actúan de manera impulsiva y tienden a responder de manera inmediata, sin considerar si es apropiado o no. El adulto puede pensar que el niño se comporta mal de manera intencionada cuando en realidad el niño quiere hacer lo correcto pero no tiene todavía desarrollado el control inhibitorio para ser capaz de controlarse. En la medida en que un niño tiene un mejor control inhibitorio será más persistente, menos impulsivo y tendrá una mejor regulación de la atención (Davidson, Amso, Anderson & Diamond, 2006). En la adolescencia los sistemas cerebrales que regulan la inhibición se integran mejor y se ha observado una mayor estabilidad para demorar, detener o suprimir respuestas en curso alrededor de los 15 años de edad (Anderson et al., 2001; Luna, Garver, Urban, Lazar & Sweeney, 2004).

La memoria de trabajo involucra mantener información en mente y manipularla de manera activa (Baddeley, 1992; Baddeley & Hitch, 1974; Smith & Jonides, 1999). Por ejemplo cuando se recuerda lo que se tiene que hacer o se hacen cálculos mentales o se incorpora información nueva a los planes elaborados previamente. Esta memoria es

necesaria para que el discurso, la lectura y la escritura tengan sentido (Diamond, 2014). Se ha observado en niños menores de tres años de manera incipiente y con mayor desarrollo alrededor de los 7 años (Diamond, 2002). A pesar de su emergencia temprana, alcanza su desarrollo pleno entre los 16 y los 17 años de edad (Luna et al., 2004).

La flexibilidad cognitiva involucra parcialmente la capacidad para encontrar soluciones creativas o ver las cosas desde diferentes perspectivas. De igual forma permite cambiar de curso una respuesta cuando es necesario, ajustar los cambios a las demandas de una situación, reconocer una equivocación o una estrategia ineficaz y cambiarla. La flexibilidad permite cambiar la perspectiva y trabaja con la inhibición cuando es necesario cambiar una respuesta en función de obtener el resultado deseado o alcanzar una meta (Davidson et al., 2006; Diamond, 2013).

El modelo incorpora la planeación la resolución de problemas y el razonamiento como funciones ejecutivas de alto nivel. Diamond afirma que el razonamiento y la capacidad para resolver problemas son equivalentes a la inteligencia fluida, la cual es definida como la capacidad para razonar y resolver problemas, así como para ver patrones o encontrar relaciones entre artículos e ideas (Ferrer, Shaywitz, Holahan, Marchione & Shaywitz, 2009).

La planeación se ha considerado como parte de las funciones ejecutivas en adultos desde que Lezak (1982) propuso el término de funciones ejecutivas. Es considerada dentro de la mayoría de los modelos del funcionamiento ejecutivo (Lezak, 1982; Stuss & Benson, 1986; Denckla, 1996; Hayes, Gifford & Ruckstuhl, 1997; Sohlberg & Mateer, 2001). Consiste en la capacidad para integrar, secuenciar y desarrollar los pasos necesarios para alcanzar una meta de corto, mediano o largo plazo. En la figura 1 se muestra de forma gráfica el modelo propuesto por Diamond (2013).

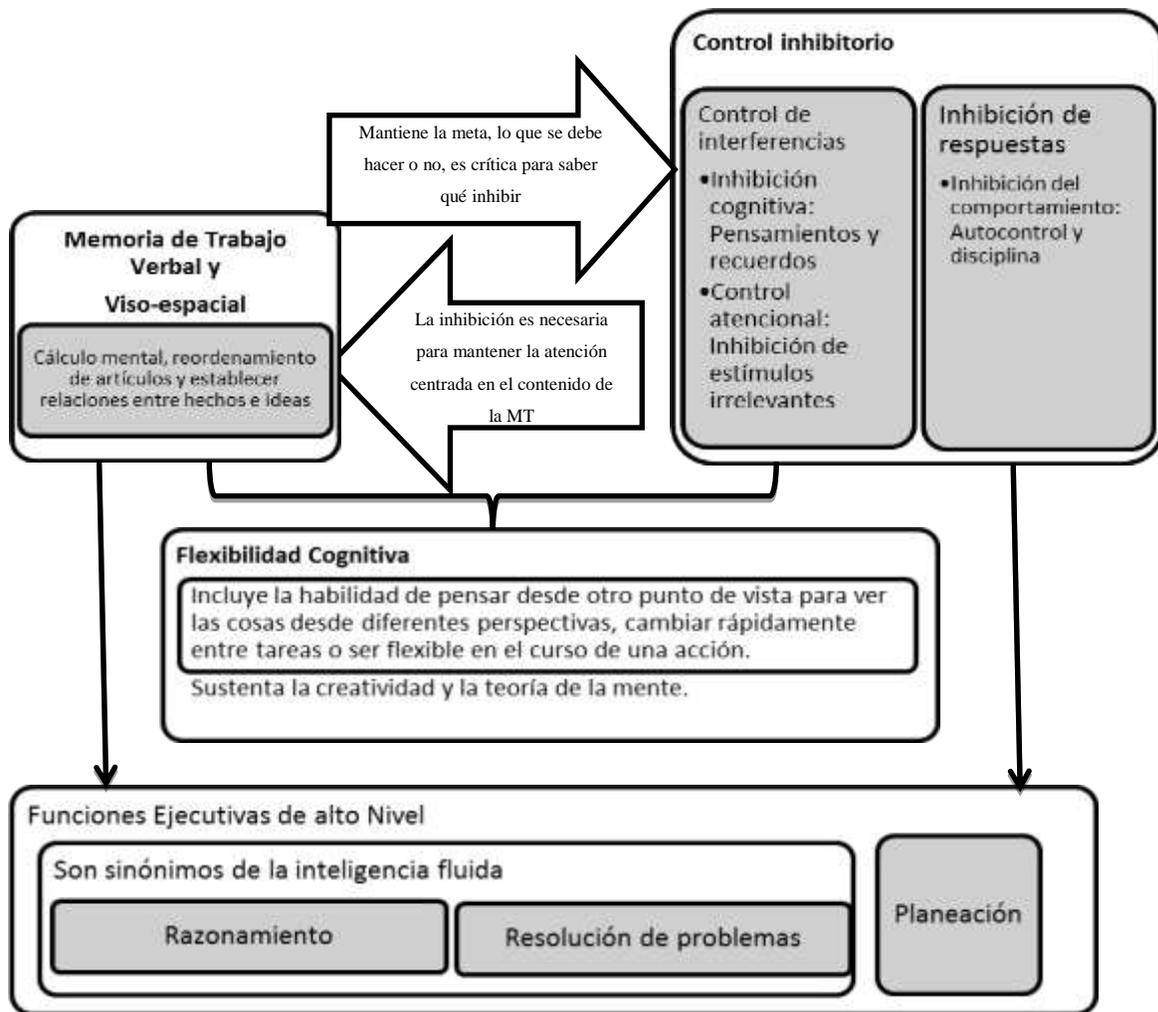


Figura 1. Funciones ejecutivas durante el desarrollo. Esquema Traducido de Diamond (2013).

El modelo contiene una polémica porque de acuerdo con Diamond (2013) la inteligencia fluida incluye tanto el razonamiento inductivo como el deductivo e involucra la capacidad para imaginar relaciones abstractas como las que subyacen a las analogías. El modelo considera el razonamiento como una función ejecutiva. Si bien es cierto que se han encontrado correlaciones significativas entre los resultados del test de matrices de Raven con medidas independientes de funciones ejecutivas, esto no implica que sean sinónimos

(Conway, Kane & Engle, 2003; Duncan, 2001; Duncan, Burgess & Emslie, 1995; Duncan, Emslie, Williams, Johnson & Freer, 1996; Kane & Engle, 2002; Kane & Hambrick, 2005).

Estos resultados ponen de manifiesto que el razonamiento está relacionado con la actividad del lóbulo frontal y, por lo tanto, con las funciones ejecutivas. De acuerdo con otras investigaciones que relacionan la actividad frontal con diferentes tipos de razonamiento (Delis, Squire, Bihrlé & Massman, 1992; Luria, 1973; Parsons & Osherson, 2001) se puede considerar que el razonamiento es una función frontal pero no necesariamente una función ejecutiva.

Luria (1973) explica que el razonamiento depende de la actividad del lóbulo frontal y que requiere de la capacidad para formular hipótesis, compararlas con lo que percibe, categorizar y codificar. El razonamiento requiere de varias funciones ejecutivas y no ejecutivas como la memoria y el lenguaje. Por lo tanto es más compleja que las funciones ejecutivas.

Para Luria la principal característica de las FE es que son mecanismos programados y orientados hacia un fin que permiten organizar y controlar la actividad humana mientras que el razonamiento utiliza funciones ejecutivas para comprender mejor el mundo, establecer relaciones entre lo que conoce y el pasado para formular hipótesis y resolver problemas.

En su definición de razonamiento Diamond afirma que es “la capacidad para establecer relaciones abstractas”, Sternberg en su teoría triárquica de la inteligencia (1996) también hace referencia a la capacidad para establecer relaciones pero agrega la capacidad para codificar, inferir, aplicar inferencias, comparar, analizar y sintetizar, lo cual hace que el razonamiento sea una función de alta complejidad que requiere de varios procesos cognitivos para llevarse a cabo.

A pesar de ello, el modelo se ajusta a las necesidades de la presente investigación en cuanto a que existen funciones ejecutivas de mayor complejidad, específicamente la planeación, que aparece alrededor de los 12 años y madura hasta después de los 20 y es una de las tres funciones ejecutivas evaluadas (Anderson et al., 2001).

Sustrato Anatómico y neurodesarrollo de las Funciones Ejecutivas

El funcionamiento ejecutivo involucra principalmente a los lóbulos frontales, específicamente a la corteza prefrontal. Esto se ha determinado debido a que los pacientes examinados con lesiones frontales focales muestran alteraciones en el funcionamiento ejecutivo. Las constantes asociaciones entre las funciones ejecutivas y las funciones frontales sugieren que existe una estrecha relación entre ellas pero que no son sinónimos (Stuss & Alexander, 2000).

Adicionalmente a los lóbulos frontales se ha encontrado que existen conexiones con otras zonas de la corteza y con estructuras subcorticales como los núcleos de la base, la amígdala, el diencéfalo y el cerebelo que participan en el funcionamiento ejecutivo, conformando lo que se ha denominado el sistema frontal o prefrontal (Kelly, Best & Kirk, 1989).

Desde una perspectiva funcional y cognitiva, la corteza prefrontal constituye un sistema de coordinación y selección de muchos procesos y de diferentes conductas y estrategias con que cuenta el ser humano. Una característica importante de la corteza prefrontal es la capacidad para realizar tareas múltiples que permiten la guía de la conducta basada en estados internos y representacionales que únicamente pueden alcanzarse mediante procedimientos o reglas (Burgess, 2000). Igualmente puede mantener patrones de

activación que representan metas así como seleccionar y secuenciar los medios para alcanzarlas (Miller & Cohen, 2001).

La corteza prefrontal recibe información desde estructuras subcorticales acerca de los cambios producidos en el organismo y participa en la regulación de los estados del cuerpo. Los cambios que se producen se deben tanto a la aparición de estímulos nuevos que provocan reacciones de orientación como a la actividad de respuesta del propio organismo (Flores, 2006).

La corteza prefrontal está conformada por dos tipos de columnas celulares: granulares y agranulares. La región agranular corresponde a la corteza orbital, medial y motora mientras que la porción granular (prefrontal) es exclusiva de los primates y alcanza su mayor desarrollo en los humanos (Ziles, 1990). Esta organización en columnas es considerada un requisito neurofisiológico para que se realicen las diversas funciones asociativas.

Debido a que existen numerosas columnas con conexiones muy variadas y delimitadas, es posible formar gran cantidad de asociaciones mediante la combinación entre ellas (Passingham, 1995). Está dividida en tres grandes regiones: la corteza frontal dorsolateral, la corteza orbitofrontal y la corteza frontomedial (Ongur & Price, 2000; Ongur, Ferry & Price, 2003).

La corteza prefrontal dorsolateral incluye la corteza motora y premotora, las cuales están involucradas en el movimiento específico de los músculos estriados. Permite la planeación, organización y ejecución secuencial de movimientos y acciones complejas (Flores-Lázaro, Ostrosky y Lozano, 2008) participa en la planeación, organización y ejecución secuenciada de movimientos y de acciones complejas (Luria, 1986). La selección

y preparación de los movimientos está relacionada con la región anterior, en tanto que la ejecución de los mismos depende de la región posterior (Passingham, 1995).

El campo oculomotor está involucrado en la percepción y síntesis de la información visual compleja (Ardila, 1982), corresponde al área de Broadman (AB) 8. El área de Broca (AB 44 y 45) está relacionada con los aspectos más complejos del lenguaje, como es el caso de la sintaxis, así como el área de las manos, que constituyen la principal herramienta en el desarrollo humano.

La corteza prefrontal dorsolateral (CPF DL) es la región anterior a la corteza motora y premotora y representa la estructura neocortical con mayor desarrollo, especialmente en su porción más anterior (AB 10). Su desarrollo y organización funcional son exclusivos de la especie humana y se consideran como zonas de asociación supramodal o cognitivas debido a que no procesan estímulos sensoriales directos (Fuster, 2008).

El área dorsal está íntimamente relacionada con la planeación, memoria de trabajo, la fluidez tanto verbal como de diseño, resolución de problemas complejos, flexibilidad mental, generación de hipótesis, estrategias de trabajo, seriación y secuenciación (Stuss & Alexander, 2000), procesos considerados en su mayoría como funciones ejecutivas.

Las porciones más anteriores están relacionadas con procesos de metacognición, que permiten la auto-evaluación o monitoreo y el ajuste o control de la actividad (Fernández-Duque, Baird & Posner, 2000), así como en los aspectos psicológicos como la cognición social y el auto-conocimiento, que integra la conciencia del sí con el conocimiento autobiográfico (Stuss. & Levine, 2000).

La corteza orbitofrontal (COF) es la región de la corteza frontal que según describen Stuss & Levine (2000) está relacionada con el sistema límbico y se encarga del procesamiento y regulación de la conducta, así como de las emociones y los estados

afectivos (Damasio, 1998). Está involucrada en la detección de variaciones ambientales que puedan constituir un riesgo o un beneficio para el sujeto. Ello permite ajustar los patrones de comportamiento en función a los cambios que ocurren de forma abrupta en el ambiente del sujeto (Rolls, 2000).

La corteza orbitofrontal (COF) participa en el proceso de la información relacionada con recompensas, con lo que permite detectar cambios en las condiciones necesarias para realizar cambios durante el desarrollo de una acción o conducta. Su aportación es fundamental cuando se presentan situaciones inesperadas en la toma de decisiones, ya que participa señalando la relevancia de la conducta las respuestas que pudieran darse ante una situación dada (Elliot, 2003).

La tercera región es la corteza frontomedial (CPFM) que de acuerdo con Badgaiyan y Posner (1997), está involucrada activamente en la inhibición, detección y solución de conflictos, así como en la regulación y control atencional. Los trabajos de Fuster (2008) muestran que además participa en la regulación de la agresión y los estados motivacionales. El área del cíngulo anterior y la región caudal forman un cinturón de tejido a lo largo de la superficie medial. La corteza del cíngulo se activa cuando se realizan tareas de detección de errores, atención dividida así como detección y solución de conflictos (Badgaiyan. & Posner, 1997).

La mayor parte del desarrollo cerebral sucede en la etapa previa al nacimiento pero los cambios continúan en los primeros dos años de vida. En este punto el cerebro alcanza el 80% de su peso adulto (Kretschmann, Kammradat, Krauthausen, Sauer & Wigert, 1986). Los procesos de dendrogénesis y axogénesis que continúan hasta el cuarto año de vida y son la causa del aumento en el volumen del cerebro (Casey et al., 2000).

Estudios sobre densidad y conectividad neuronal han revelado que las funciones cognitivas aparecen por primera vez en relación al establecimiento de numerosas conexiones sinápticas, proceso conocido como sinaptogénesis. Sin embargo la función cognitiva madura progresivamente conforme el exceso de sinapsis se elimina, de tal forma que la capacidad cognitiva en la infancia se incrementa con el refuerzo de las conexiones existentes y la eliminación de las conexiones innecesarias, proceso que se conoce como poda neuronal (Casey et al., 2000).

El cerebro en desarrollo presenta cambios en distintas regiones con respecto a la edad. Por ejemplo, se han encontrado cambios en la mielinización de la corteza dorsolateral en la adolescencia pero no en la corteza orbital (Klenberg, Korkman & Lathi-Nuutila, 2001). Actualmente se ha demostrado que a partir de los seis años los niños son capaces de desarrollar tareas ejecutivas que generalmente se utilizan con adultos (Anderson, 2002).

Investigaciones realizadas por Rosso, Young, Femia y Yurgelun-Todd (2004) han señalado que la transición entre el pensamiento concreto y el pensamiento abstracto constituye un indicador del crecimiento de la corteza prefrontal. Asimismo se ha observado que la habilidad para resolver problemas se incrementa entre los siete y los once años mientras que entre los once y los quince años se nota la aparición del pensamiento lógico y la construcción de hipótesis (Rosso et al., 2004). Estos descubrimientos proponen que las funciones ejecutivas maduran secuencialmente y que su aparición es resultado de la maduración de la corteza prefrontal.

Capacidad Intelectual

La capacidad intelectual como una manifestación de las diferencias en los niveles de la inteligencia humana ha sido objeto de investigaciones durante todo el siglo XX. Muchos autores consideran a la inteligencia como la capacidad del ser humano para adaptarse a su entorno mediante la selección de la mejor estrategia a través del pensamiento. García Pérez (2005 p. 19) considera que “ser inteligente es ser capaz de enfrentarse con éxito a diversos contextos, habituales o esporádicos, que constituyen un reto o una dificultad para el individuo, aplicando a su resolución diversas destrezas cognitivas”.

De acuerdo con Sastre-Riba (2008, 2012), la capacidad intelectual alta es una manifestación diferencial de la inteligencia humana y sus manifestaciones se conocen como superdotación y talento. Para algunos investigadores, la inteligencia consiste en la selección de las mejores alternativas para que el ser humano se adapte a su entorno, de tal forma que sea capaz de mejorarlo y garantizar la supervivencia del individuo y de su descendencia.

Durante el desarrollo el niño adquiere habilidades para regular y controlar su comportamiento mediante procesos de análisis, síntesis y comparación. A medida que crece, el niño puede resolver situaciones novedosas sin tener experiencias previas, identificar la parte del contexto que requiere de adaptación, valorar la situación y generar alternativas y analizarlas para seleccionar la mejor en términos de adaptación a la demanda del medio.

En el estudio de la capacidad intelectual alta, también llamada superdotación, se han planteado cuatro tipos de modelos teóricos (Sánchez, 2008), cada uno de ellos centrado en aspectos distintos. Los modelos multifactoriales, los modelos orientados al rendimiento, los

modelos basados en componentes culturales y los basados en componentes cognitivos. En la tabla No. 2 se muestran las características de las cuatro clases de modelos.

Tabla 2.

Modelos de Capacidad intelectual alta (Sánchez, 2008)

Tipo de Modelo	Característica	Ejemplos
Modelos multifactoriales	Destaca el papel de las habilidades extraordinarias como la capacidad intelectual, el pensamiento creativo, la aptitud académica y la capacidad de liderazgo. La multidimensionalidad de la inteligencia y la superdotación incluye la capacidad de planeación, la capacidad de pronóstico y la capacidad de decisión.	Acta de Marland (1972), documento que sentó las bases para definir la superdotación, las altas capacidades intelectuales y el talento. En el acta se considera una persona superdotada cuando muestra un potencial de habilidad en algunas áreas como las artes o la capacidad de liderazgo.
Modelos Orientados al rendimiento	Presuponen la existencia de cierto nivel de aptitud. Consideran el término “gifted”. La capacidad se refiere a un potencial que debe manifestarse en distintos productos.	Teoría de los tres anillos (Renzulli, 1978). Debe existir una inteligencia general superior a la media, creatividad y compromiso con la tarea. La superdotación se encuentra en la intersección de estas tres características.
Componentes socioculturales	Enfatizan lo relativo a los cambios históricos y culturales. La dotación requiere de la capacidad general, capacidades especiales, motivación, influencias ambientales y el factor suerte (Tannenbaum, 1986).	Modelo diferenciado de dotación y talento Gagné (1985). La dotación es la posesión y utilización de habilidades naturales por lo menos en un dominio sin recibir formación sistematizada. El talento es el dominio de las habilidades desarrolladas como conocimientos y destrezas manifestadas en por lo menos un campo de la actividad humana.
Componentes cognitivos	Estudian los procesos cognitivos y destacan la importancia de la metacognición, la cual consideran fundamental para la superdotación.	Modelo de Inteligencia exitosa (Sternberg, 1996). Los individuos tienen la capacidad de procesar la información de forma novedosa de tal forma que encuentran soluciones nuevas.

En el último grupo de modelos se encuentra el modelo de inteligencia exitosa de Sternberg (1996), el cual se ha seleccionado para el presente trabajo debido a que contempla procesos que en su definición se encuentran relacionados con las funciones ejecutivas.

Modelo de Inteligencia Exitosa

Sternberg (1996) considera que la inteligencia exitosa es la habilidad para alcanzar el éxito según los estándares personales dentro de un contexto socio-cultural. Esta habilidad depende de la forma en que se capitalizan las fuerzas del individuo y se compensen o modifiquen las debilidades. Mediante la capitalización se lleva a cabo la adaptación al ambiente y finalmente el éxito se consigue a través de un balance de las habilidades planteadas en la teoría triárquica de la inteligencia, que son la inteligencia analítica, la experiencial y la práctica (Sternberg, 1996).

El modelo contempla tres tipos de inteligencia exitosa o superdotación: Analítica, Práctica y Sintética. La superdotación analítica implica la extracción de un problema diferente al inicial, así como la comprensión de sus partes y de cómo se relacionan. Este tipo de inteligencia es equivalente al razonamiento lógico e incluye habilidades para reconocer problemas, su definición y planeación de pasos y estrategias para resolverlos.

Para que este tipo de inteligencia sea exitosa, Sternberg la define como la capacidad para la representación de la información, el control y monitoreo de las decisiones y del éxito de las acciones que se llevan a cabo. Implica también la posibilidad de superar

situaciones que obstaculicen la consecución de las metas y el análisis flexible de los problemas para una toma de decisiones exitosa (Sternberg, 1996).

La inteligencia práctica permite traducir la teoría en hechos prácticos para solucionar problemas en la vida diaria. Los problemas que se encuentran en situaciones reales a menudo requieren de una nueva formulación para lograr resolverlos. Muchas veces tienen consecuencias personales y no existe una sola respuesta correcta. Para que este tipo de inteligencia sea exitosa, la persona debe adquirir y utilizar el conocimiento orientado a la acción en situaciones particulares de manera tal que le permita adaptarse a un determinado contexto, entender su funcionamiento y hacerlo funcionar en su propio beneficio (Sternberg, 1996).

La inteligencia sintética o creativa supone habilidades para combinar información, la intuición, creatividad y la capacidad para adaptarse a nuevas situaciones. Se asocia a los logros científicos y literarios. Este tipo de inteligencia implica la solución de problemas de la vida diaria mediante habilidades de análisis y síntesis, es la capacidad para encontrar nuevos problemas y tener nuevas ideas. Se relaciona con la capacidad de percibir relaciones entre conceptos que otras personas no pueden encontrar. La inteligencia creativa permite que se cuestionen supuestos aceptados por la mayoría, que se asuman riesgos y se puedan redefinir los problemas. Cuando la inteligencia sintética es exitosa las personas toleran el trabajo ambiguo, comprenden los obstáculos y se dan tiempo para pensar de manera creativa (Sternberg, 1996).

El modelo está basado en la teoría triárquica de la inteligencia y permite comprender la forma en que los niños y adolescentes dotados combinan los tres tipos de inteligencia para lograr el éxito según el ambiente en que se desenvuelven (Sternberg,

Grigorenko, Jarvin & Sternberg, 2006). Los tres tipos de inteligencia son procesos de adaptación al medio que utilizan diferentes herramientas cognitivas para lograrlo.

De acuerdo con Sternberg y Davidson (1995) los niños con capacidad intelectual alta presentan un mejor procesamiento de la información, a diferencia de los niños con retraso en el desarrollo. Sternberg (1985) argumenta que los estudiantes con capacidad intelectual alta presentan un funcionamiento superior, que da como resultado un alto cociente intelectual.

Como se puede observar, el modelo está basado en dos aspectos fundamentales que son la selección de estrategias que respondan a las exigencias de situaciones que provienen del medio para que el individuo pueda adaptarse. Estas herramientas, que Sternberg llama metacomponentes contienen elementos que caracterizan a las funciones ejecutivas como procesos cognitivos de control y autorregulación del comportamiento en la formulación y consecución de metas.

En la tabla 3 se observa la relación de los metacomponentes del modelo de inteligencia exitosa (Sternberg, 1985) con el modelo de funciones ejecutivas de Diamond (2013).

Tabla 3.

Relación entre metacomponentes y funciones ejecutivas.

Metacomponentes (Sternberg, 1985)	Funciones ejecutivas (Diamond, 2013)
Memoria: Seleccionar información almacenada para resolver problemas.	Memoria de trabajo: Mantener información y manipularla.
Control de la ejecución de una tarea.	Control inhibitorio: Inhibe respuestas preponderantes y controla impulsos.
Formar y seleccionar la estrategia más adecuada para	Flexibilidad: Habilidad para cambiar entre

combinar los componentes y lograr ejecutar la tarea de manera eficaz. Requiere de la rapidez para elegir las estrategias y la capacidad para modificarlas cuando no son eficientes.	tareas para ajustarse a la demanda para resolver una tarea.
Planeación: Selección y organización de la información para realizar una tarea de manera eficaz.	Planeación: Organización en pasos secuenciales para alcanzar una meta.
Razonamiento lógico: Utilizar componentes de orden inferior para resolver una tarea. (Codificar, inferir, establecer relaciones, aplicar inferencias, comparar).	Razonamiento: Capacidad para imaginar relaciones abstractas.
Reconocer, definir y solucionar un problema.	Resolución de problemas.

Los cuatro tipos de modelos sobre dotación intelectual son un ejemplo de lo complicada que es la tarea de definirla y explicarla. Esta complejidad propicia que exista la tendencia a utilizar únicamente la psicometría para medir la capacidad intelectual. Sin embargo la inteligencia es más que una medida psicométrica porque involucra factores muy diversos que no pueden ser reducidos a una sola medida.

La psicometría ha sido aceptada como una forma para medir la inteligencia de los individuos y da una aproximación que permite establecer diferencias entre los individuos sin que por ello se considere como única medida de la capacidad intelectual. Dicha medida será utilizada para los fines del presente trabajo como medida de inteligencia obtenida en el test de matrices Progresivas de Raven y en la Batería Cervantes de evaluación de la inteligencia.

En el caso del test de Raven la capacidad intelectual mide la inteligencia fluida, compuesta por el razonamiento abstracto y analógico (Cattell, 1963). La Batería Cervantes considera también la inteligencia lógica y de razonamiento abstracto y agrega las

inteligencias práctica y creativa, relacionadas con aspectos del contexto y de la vida diaria. La batería está basada en la teoría de la inteligencia triárquica de Sternberg (1996). Ambas pruebas han sido diseñadas para medir la capacidad intelectual.

Capacidad Intelectual y Funciones ejecutivas

La relación entre las funciones ejecutivas y la capacidad intelectual ha sido estudiada por diferentes autores y desde distintas disciplinas. El trabajo realizado por Friedman, Miyake, Corley, Young, Defries y Hewitt (2006) reveló una correlación de 0.74 entre la memoria de trabajo y la inteligencia fluida y de 0.79 entre la memoria de trabajo y la inteligencia cristalizada en un grupo de estudiantes universitarios, para ello se utilizó la escala de inteligencia Wechsler para adultos.

En el estudio realizado por Salthouse, Fristoe, McGuthry y Hambrick (2003) se encontró una correlación de 0.69 de la inhibición con inteligencia fluida en adultos mayores, medida también con la escala de Wechsler para adultos. Dempster (1991, 1993) encontró relaciones entre la escala de inteligencia de Wechsler y tareas de inhibición tanto en población infantil como en adultos de diversas edades.

En los años recientes y con los avances de las técnicas de neuroimagen funcional, las investigaciones se han dirigido a encontrar las diferencias en el funcionamiento cerebral que pueden existir entre los niños con diferente capacidad intelectual. Se ha descubierto que los niños y adolescentes con capacidad intelectual alta pueden aprender de manera más rápida y eficiente que otros debido a lo que se presumen diferencias en la eficiencia neuronal (Geake, 2009; Geake & Dodson, 2005). Se ha observado que los adolescentes con

CIA presentan gran interconectividad entre diferentes áreas cerebrales, especialmente en las áreas frontales (Geake, 2007; Tongran, 2008).

En estudios de neuroimagen sobre el funcionamiento neuronal de niños con CIA comparándolo con personas de la misma edad que no han sido identificados como tales se ha encontrado que estos niños presentan una mayor activación frontal inter-hemisférica con una mayor conectividad funcional (Geake, 2009).

Por otra parte Arffa (2007) llevó a cabo un estudio sobre el desempeño en tareas que involucran funciones ejecutivas y funciones no ejecutivas con personas con CIA y con una capacidad intelectual por debajo del promedio. Encontró que los jóvenes con CIA tuvieron un desempeño superior en tareas con funciones ejecutivas pero no en las pruebas de otras funciones. Evaluó la atención, la flexibilidad y la fluidez en 45 adolescentes entre 13 y 18 años. Las funciones no ejecutivas que evaluó fueron la memoria verbal y la memoria visoespacial.

Sastre-Riba (2008) realizó una investigación en la que estudió el funcionamiento cerebral mediante potenciales relacionados a eventos (PREs) durante tareas de razonamiento simple, complejo y creativo en adolescentes de 13 años de edad, en 2 grupos, uno de adolescentes con CIA y otro con adolescentes con capacidad intelectual media (CIM). Encontró diferencias en la activación cerebral entre ambos grupos.

Los estudios revisados han evaluado una sola función ejecutiva para comparar la ejecución entre grupos con CIA y grupos con CIM. En el presente trabajo se midieron tres de las seis funciones centrales que propone Diamond en su modelo a dos grupos de adolescentes, un grupo con CIA y el otro con CIM mediante tareas conductuales. Adicionalmente se comparó la memoria de trabajo de los dos grupos mediante PREs.

Análisis Electrofisiológico de la Actividad Cerebral

Un método para examinar la respuesta neuronal que sucede ante una tarea cognitiva es medir la actividad eléctrica del cerebro mediante un electroencefalograma (EEG). Desde 1929 en que Hank Berger mostró que la actividad eléctrica del cerebro podía medirse a través de electrodos directamente en el cuero cabelludo y utilizando un amplificador de señal, observó que el voltaje puede mostrar cambios motivados por eventos externos que estimulan los receptores sensoriales.

Para la adquisición de la señal de electroencefalografía (EEG) se realiza la conexión entre el sujeto y el equipo de registro mediante electrodos que pueden ser de oro, plata o estaño colocados en el cuero cabelludo de acuerdo al sistema 10-20 (Jasper, 1958). En el sistema se identifica al inión, al nasión y a los puntos pre-auriculares y se marcan los sitios restantes al 10, 20 y 50% sobre las líneas que unen los puntos de referencia, donde se colocan los electrodos (Fig. 2). Antes de colocar los electrodos se separa el cabello y se frota la piel para evitar que se contamine el registro. Los electrodos se fijan con una pasta conductora eléctrica.

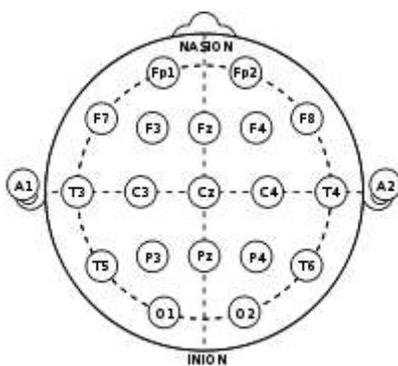


Figura 2. Ubicación de los electrodos según el sistema 10-20. (Jasper, 1958).

Una vez colocados los electrodos se conectan a los amplificadores y a los filtros. Debido a que la señal generada es de muy bajo voltaje, es necesario amplificarla diez mil veces para después transformarla a un formato digital que pueda ser interpretado por una computadora.

Las ondas que se obtienen en el EEG poseen amplitud se expresa en micro volts (μV), frecuencia, que se expresa en hertz (Hz) y polaridad (\pm). Las ondas o ritmos se clasifican según el número de ciclos por segundo y se denominan con las letras griegas alfa, beta, theta y gama. Las ondas alfa (α) presentan frecuencias entre 8 y 13 Hz, se registran en sujetos sanos con los ojos cerrados y sin actividad. Se observan principalmente en la zona occipital con una amplitud entre 20 y 60 μV .

El ritmo beta (β) generalmente constituye la actividad dominante en regiones centrales y anteriores, su frecuencia es mayor a 13 Hz y presenta amplitud baja, entre 5 y 10 μV . Este ritmo disminuye durante el sueño y su presencia indica una función cerebral normal. Las ondas theta (θ) pueden tener una morfología regular o irregular, de escasa duración y baja frecuencia (4-8 Hz), así como baja amplitud. Se observan en regiones temporales y con mayor frecuencia en la infancia o en adultos en condiciones de stress emocional.

El ritmo gama (δ) presenta frecuencias inferiores a 3.5 Hz y se presentan en la infancia durante el sueño profundo, su aparición en mayores de 20 años son indicadores de algún padecimiento. Son ondas agudas con una amplitud entre 30 y 50 μV pero que en ocasiones pueden alcanzar mayor voltaje. Aparecen en regiones occipitales y generalmente aparecen en los dos hemisferios (Barea, 2014).

Potenciales Relacionados a Eventos (PREs)

Los PREs consisten en cambios de voltaje que se producen como respuesta (relacionados) a estímulos (eventos) de tipo sensorial, motor o cognitivo. Son el resultado de la activación de una población neuronal que procesa la información requerida para realizar una tarea específica (Picton & Hillyard, 1988). Ocurren en un tiempo determinado antes, durante o después de que suceda un cambio en el mundo físico o relacionado con procesos psicológicos (Picton, 1988).

Los PREs se clasifican en endógenos, asociados al procesamiento psicológico y exógenos, determinados por las características físicas del estímulo. Se generan por una separación de cargas eléctricas a través de las membranas celulares de las neuronas. El grado con el que se registran depende de la geometría de las membranas activas, de la sincronía de la actividad intercelular y de la impedancia de dichas células (Picton, 1988).

En 1935 Pauline y Hallowell Davis registraron los primeros PREs en humanos. En su investigación reportaron la aparición de una onda asociada a estímulos auditivos durante la medición de un electroencefalograma. En esa misma época se observó que primates con ablaciones del lóbulo frontal presentaron deficiencias en tareas de respuesta demorada, la cual se consideró un paradigma adecuado para el estudio de las funciones prefrontales (Wang, 2005).

Años más tarde Walter, Cooper, Aldridge, McCallum y Winter (1964) describieron una onda negativa observada entre un estímulo auditivo de alerta consistente en un click y un estímulo visual de prueba consistente en un flash ante el cual se debía presionar un botón. Dicha onda se denominó variación contingente negativa, conocida como onda E. Para obtener este potencial se promediaron 12 segmentos del EEG (Téllez, 2014).

En 1965 Sutton, Breren, Zubin y John encontraron una onda positiva de mayor amplitud que se presentaba ante la incertidumbre sobre la modalidad sensorial en que se presentaría el estímulo de prueba. Sutton et al., (1965) utilizaron pares de estímulos de alerta y prueba en dos condiciones. La primera, denominada condición segura, el estímulo de prueba se presentaba en una sola modalidad sensorial, que podía ser visual o auditiva. En la segunda condición, considerada condición insegura, el estímulo de prueba podía ser presentado en cualquiera de las dos modalidades sensoriales en diferente porcentaje (33-77%). Cuando se compararon los potenciales de los estímulos de prueba se encontró mayor amplitud en una onda positiva que apareció a los 300 milisegundos en la condición insegura. Esta diferencia fue más evidente cuando la probabilidad de aparición del estímulo fue del 33%. Se promediaron de 30 a 360 segmentos del EEG y se presentaron las ondas de 5 a 8 participantes para obtener las ondas mencionadas.

Las actividades en el sistema nervioso central son llevadas a cabo de manera simultánea por conjuntos distintos de células. Cuando hay poca sincronización entre los grupos no será posible registrar su actividad a distancia sobre el cuero cabelludo. Debido a que existen grupos de células activos que no tienen relación con el evento de interés, pero que su actividad genera campos que se superponen a los que se están midiendo, es necesario cancelar los potenciales sobrepuestos mediante un filtro de frecuencias, así como del promedio de la actividad eléctrica relacionada con el evento que se está trabajando. Para realizar el promedio se asume que los PREs permanecen constantes mientras que el ruido aleatorio se atenúa en relación a la raíz cuadrada del número de ensayos promediados (Picton, 1988).

Los PREs se obtienen por medio del procesamiento de la señal electroencefalográfica al filtrar las frecuencias, segmentar las señales y promediar varios

segmentos de acuerdo con las condiciones del experimento y tipo de estímulo. La interpretación de los PREs se lleva a cabo mediante el análisis de varios aspectos morfológicos: polaridad (positiva-negativa), amplitud (μV), latencia (mseg) y topografía.

Con el fin de determinar los componentes de los PREs se evalúa la forma en que es alterado por los cambios en el estímulo o en la tarea para observar cómo varía la actividad eléctrica en relación con la ejecución o con la manipulación experimental. Actualmente es aceptado que la actividad que se registra en el cuero cabelludo refleja los potenciales postsinápticos de las dendritas apicales de la corteza (Wood & Allison, 1981; Fabiani, Gratton & Coles, 2000).

Los potenciales se nombran en función a su polaridad, con una P para las ondas positivas y una N para las negativas. Después de la inicial se agrega un número que señala la secuencia de aparición (1,2,3) o bien se expresa en milisegundos por el tiempo de latencia, que pueden ser desde 100 a 800 ms. Otra forma de denominación es de acuerdo al proceso cognitivo al que se relacionan, por ejemplo la variación contingente negativa, onda de la incongruencia semántica, etc. Se pueden también denominar con una combinación de ambas nomenclaturas, por ejemplo la onda P3 de la novedad. Es la tercera onda positiva que aparece y se relaciona con un estímulo novedoso o inesperado.

De manera general, los PREs se dividen en aquellos asociados a la respuesta y en los asociados al estímulo. Los componentes asociados al estímulo se dividen a su vez en componentes sensoriales (1-10 mseg), de latencia media (~ 100 mseg) y de latencia tardía (~ 300 mseg). Los componentes tempranos de los potenciales sensoriales representan la actividad de las vías que transmiten la señal que se genera en los receptores periféricos. Son componentes modalmente específicos debido a que difieren en la forma de onda y en la topografía dependiendo de la modalidad sensorial (Fabiani, 2000).

Los componentes de latencia media se han observado en la realización de tareas relacionadas diferentes funciones cognitivas. En el caso de la atención selectiva su efecto se define como un aumento de amplitud de onda cuando el sujeto dirige su atención hacia alguna de las características del reactivo. Hillyard, Hink, Schwent y Picton (1973) reportaron que los estímulos atendidos se asocian a un potencial negativo entre 100 y 200 mseg.

Los componentes N200 se asocian a la atención del sujeto cuando se dirige al análisis del estímulo y a que el modelo de comparación puede ser generado por el mismo sujeto. La onda N1 ha sido relacionada con la atención selectiva en las modalidades auditiva y visual. La onda P2 se ha relacionado con el procesamiento auditivo temprano. La onda P3 ha sido asociada con procesos de actualización o de memoria o memoria de trabajo debido a que tiene mayor amplitud ante estímulos poco probables.

En los últimos años la utilización de potenciales relacionados a eventos ha aumentado de manera considerable debido a que es una técnica no invasiva, que obtiene información directa de la actividad cerebral y su resolución temporal es en milisegundos. Adicionalmente el costo de los aparatos es más bajo que el costo de los aparatos utilizados en los estudios de neuroimagen funcional.

Entre las desventajas de la técnica de EEG está la baja resolución espacial, ya que no pueden hacerse localizaciones exactas del origen de la actividad cerebral como se hacen con otras técnicas. Otra desventaja es que para obtener los PREs se necesitan numerosos ensayos y las sesiones pueden resultar cansadas para los participantes. De igual forma la precisión temporal se diluye debido a que la actividad eléctrica se promedia. Los PREs aportan información sobre los tipos de estímulos o conductas que se asocian a un tipo de

onda. A pesar de que no explican los procesos cognitivos son un correlato electrofisiológico y contribuyen a la elaboración de teorías explicativas más integrales.

Componentes de los PREs asociados a procesos cognitivos

En el estudio de la actividad eléctrica del cerebro en relación con funciones neuropsicológicas específicas se han desarrollado numerosas tareas experimentales que se han ligado a la aparición de determinadas ondas con un tiempo de aparición y amplitud de onda característica. En la modalidad visual, tanto los estímulos difusos como un flash o los específicos como una cruz son fácilmente captados por los sensores colocados en las regiones de la corteza visual y otras regiones. Diferentes tipos de estímulos visuales típicos generan ondas características pero la forma específica puede variar dependiendo del tipo de estímulo y sus condiciones de contraste en una pantalla.

En adultos sanos por ejemplo, los PREs registrados por la corteza visual primaria consisten en un pico inicial alrededor de 70-90 mseg seguida de un pico positivo más grande que aparece alrededor de los 100 mseg postestímulo (P100).

Los componentes de los potenciales relacionados con la atención se evocan mediante estímulos auditivos, visuales o somatosensoriales y pueden ser positivos (P200) o negativos (N100). Se consideran por lo menos seis procesos que generan componentes N100 que incluyen potenciales lentos. El N100 aumenta su amplitud y disminuye su latencia en tareas con estímulos auditivos de tonos frecuentes e infrecuentes y está implicado en la memoria (Ramírez y Hernández, 2010).

La negatividad asociada a la incongruencia MMN (Mismatch Negativity) se observó en la realización del paradigma “oldball” por Näätänen, Gaillard y Mäntysalo

(1978). El paradigma consiste en presentar dos tipos de estímulos auditivos, uno de mayor probabilidad de ocurrencia y otro de menor probabilidad. Es sujeto escucha los tonos de manera pasiva mientras realiza la lectura de un texto. La MMN se obtiene aún cuando el sujeto no pone atención, por lo que se relaciona con procesos previos a la atención o automáticos y refleja un tipo de memoria transitoria, ya que no se registra después de varios intervalos entre estímulos. No se ha obtenido un componente similar en la modalidad visual (Fabiani, 2000).

Los componentes N200 varían de acuerdo a la modalidad sensorial y a las manipulaciones experimentales que se utilizan. En situaciones experimentales su amplitud refleja la detección de incongruencia entre las características del estímulo o bien entre el estímulo y algún patrón previo. Difiere de la negatividad asociada a la incongruencia en que la atención del sujeto se dirige al análisis del estímulo y en que el modelo de comparación puede ser generado por el sujeto sin que exista un estímulo previo.

El componente N400 fue observado por Kutas y Hillyard (1980) en un experimento donde se presentaron oraciones falsas afirmativas o verdaderas negativas. Ambos tipos de oraciones coinciden en que su inicio no se relaciona semánticamente con la palabra final de la frase (Fischler, Bloom, Childers, Roucos & Perry, 1983). Por lo tanto se considera que el componente N400 es sensible a la violación de las expectativas semánticas. Es también más evidente en los electrodos centrales parietales y es un poco mayor en el hemisferio derecho.

La P300 es una onda positiva que aparece entre los 300 y 400 mseg después de presentado un estímulo (Müntz, Urbach, Düzel & Kutas, 2000). El tiempo en que ocurre este componente puede ser de entre 250 y 900 mseg. Generalmente la latencia de este componente ha estado asociada con el tiempo de categorización o evaluación del estímulo

mientras que su amplitud manifiesta procesos relacionados con la actualización de la memoria (Patel & Azam, 2005).

Los datos obtenidos de las mediciones durante la realización de una tarea experimental deben ser analizados para reducirlos a una medida única para cada experimento y para cada sujeto.

Memoria de trabajo y PREs

El modelo de memoria de trabajo propuesto por Baddeley y Hitch (1974), y reelaborado después por Baddeley (1986, 1992, 1996, 2003) propone que la memoria a corto plazo no depende únicamente de un sistema, sino de varios sistemas de memoria que se encargan de almacenar y manipular temporalmente la información para llevar a cabo tareas complejas como la comprensión del lenguaje y el razonamiento (Baddeley, 1992).

El estímulo llega a la memoria de trabajo cuando es atendido y percibido. Esta memoria es limitada y susceptible a las interferencias. Baddeley (1992) describe la memoria de trabajo (MT) como un mecanismo que permite almacenar temporalmente algunos datos, compararlos o relacionarlos entre sí y que se hace cargo de manipular información necesaria para procesos cognitivos complejos.

La memoria de trabajo es en sí misma una función ejecutiva que a su vez participa en por lo menos otros tres procesos dentro de las funciones ejecutivas: El control ejecutivo, el sostenimiento activo de la atención y los aspectos de organización de la información de la planeación (Fuster, 2008). Este mecanismo se caracteriza por utilizarse conjuntamente con mecanismos especializados de almacenamiento provisional que únicamente se activan cuando es necesario retener información específica, de tal forma que permite tener acceso a

conocimientos y experiencias pasadas que la persona tenga sobre un tema determinado.

Según este modelo existen tres componentes básicos de la memoria de trabajo. El ciclo fonológico está formado por un almacén que se encarga de procesar y retener la información oral durante unos segundos y que utiliza un mecanismo de repetición subvocalico que fortalece la huella de información que contiene el almacén. Este proceso participa en la transformación de códigos no fonológicos en fonológicos, la cual es necesaria para su registro en el ciclo. Se encarga de mantener activa la información que se presenta a través del lenguaje y está implicado en tareas lingüísticas como la producción y comprensión del lenguaje por vía fonológica. Incluye tareas léxicas, descripciones, manejo de números, etc.

La agenda visoespacial tiene la capacidad de elaborar y manipular información de tipo visual y espacial como el aprendizaje de mapas o tareas como jugar ajedrez, participa de manera importante en el cálculo escrito, la lectura y la escritura. Está bajo el control del ejecutivo central y se especializa en la producción y el manejo de imágenes mentales (Baddeley, 1986) .

El ejecutivo central es capaz de controlar funciones de alto nivel como la coordinación del flujo de información a través de las modalidades sensoriales de la agenda visoespacial y el ciclo fonológico, la recuperación de la información de almacenes de memoria a largo plazo, la aplicación de estrategias, el razonamiento lógico y los cálculos mentales (Baddeley, 1996).

El ejecutivo central se considera un elemento fundamental porque gobierna los sistemas de memoria, realiza principalmente dos funciones que consisten en la distribución de la atención a cada tarea que se va a realizar y la vigilancia de la atención en la tarea, así como los ajustes a las demandas del contexto, con lo cual permite la ejecución de tareas

compatibles cuando una tarea es dominada y requiere menos atención. Este modelo asume que el rendimiento de las tareas de memoria dependen de la habilidad que tenga el sujeto para manejar pequeñas unidades de información como fonemas o palabras, de tal forma que pueda identificar los elementos que componen la información para organizarla.

Muchos de los estudios sobre la memoria de trabajo y la actividad cerebral se han llevado a cabo con animales. Los primeros registros de neuronas en monos despiertos se iniciaron en la década de los 70 por Fuster y Jervey (1981). Otros estudios revelaron que las áreas prefrontales participan en la retención de la información visual (Desimone, 1996; Goldman-Rakic, Cools & Srivastava, 1996). En épocas recientes se han utilizado técnicas de resonancia magnética funcional para observar la activación neuronal durante la realización de tareas de memoria de trabajo. Durante una tarea de tipo N-back se observó una activación bilateral en el giro fronto-medial (áreas 9 y 46 de Brodmann), en el giro frontal inferior izquierdo (áreas 44 y 45 de Brodmann) y en el giro cingulado anterior (área 32 de Brodmann).

Con la utilización de los PREs en el estudio de la memoria de trabajo se han podido observar componentes relacionados al momento en que el estímulo es codificado, mantenido en la memoria y el momento de su recuperación (Barriga, 2015). Los PREs están compuestos por distintas ondas que se originan por eventos que pueden ser visuales, auditivos, olfativos o somatosensoriales. Estas ondas se denominan componentes y se consideran varios factores para definirlos. El tiempo que transcurre entre la presentación del estímulo y la aparición del componente se denomina latencia y se mide en milisegundos (ms).

Los cambios en el voltaje que se produce en respuesta al estímulo se denomina amplitud, este puede ser de polaridad positiva o negativa y se expresa en micro volts (μV). La topografía indica la localización del electrodo que registra el componente y se expresa siguiendo el sistema 10/20 con la inicial correspondiente. Frontal (F), Central (C), Parietal (P), Occipital (O) seguido de la Z y un número que puede ser par o non para indicar el hemisferio.

Los componentes de los PREs pueden clasificarse de acuerdo con el origen del estímulo. Los componentes tempranos generalmente ocurren en los primeros 100

milisegundos después de la presentación del estímulo y son denominados exógenos porque son un reflejo de la respuesta cerebral ante las características del estímulo únicamente. Los componentes endógenos o tardíos se relacionan con la respuesta de la actividad cerebral a la demanda cognitiva activada por el estímulo. Se observan después de los 100 ms de la aparición del estímulo (Carretié, 2001).

Entre los componentes relacionados con la MT se encuentra el P100, un componente temprano modulado por la atención (Magnum & Hillyard, 1988). Es una onda positiva que aparece entre los 80 y 120 ms después de la presentación del estímulo.

Este componente tiene su máxima amplitud en regiones occipitales. Su amplitud es mayor en niños y disminuye en la adolescencia (Selagowitz, Santesso & Jetha, 2010). Su implicación en la memoria de trabajo se pone de manifiesto en el estudio de Beteleva, Sinitsyn y Farber (2009) en el que observaron este componente en un intervalo de 60-96 ms en adultos.

El componente N100 es un potencial negativo que aparece entre los 100 y 200 ms (Shedden & Norgaard, 2001). Se relaciona con la discriminación sensorial y es sensible al estímulo que va a codificar. En el estudio de Beteleva et al., (2009) se observó que el procesamiento del estímulo a memorizar se reflejó en un aumento de amplitud de este componente en áreas posteriores.

El componente P200 generalmente se observa en regiones anteriores con una latencia de aproximadamente 200 ms (Mecklinger & Pfeifer, 1996). En tareas visuales se ha relacionado con el reconocimiento de estímulos relevantes para la ejecución de la tarea. Este componente se asocia a la memoria de trabajo en la fase de codificación (Kenemans, Lijffijt, Camfferman & Verbaten, 2002).

Diferentes investigaciones han encontrado una onda P300 con una amplitud máxima en la zona parietal en el análisis de una tarea visual en adultos (Dolu, Basar Eroglu, Özesmi

& Süer, 2005; Donchin & Coles, 1988; Mecklinger & Pfeifer, 1996; Ruchkin, Johnson, Grafman, Canoune & Ritter, 1997).

El proceso de comparar la información actual con información almacenada en la memoria de trabajo se caracteriza por lo que se ha denominado Complejo Positivo Lento (CPL) que duró desde los 300 hasta los 800 ms (Beteleva, Sinitsyn & Farber, 2009; Farber, Beteleva & Ignateva, 2004). Este intervalo de tiempo fue clasificado como componente P3b, se encontraron dos picos de activación, uno entre 250 y 450 ms y otro entre 450 y 850 ms. Según los investigadores el primer pico se relaciona con la identificación del estímulo y el pico tardío con la evocación del estímulo visto previamente.

La utilización de los PREs han permitido estudiar los componentes relacionados con la codificación, mantenimiento y recuperación del estímulo durante la ejecución tareas de memoria de trabajo. Los componentes que se han relacionado con la memoria de trabajo se pueden observar en la tabla 4.

Tabla 4.

Componentes de los PREs asociados a la memoria de trabajo (MT)

Componente	Descripción	Función asociada
P100	Onda positiva que ocurre entre 80 y 120 ms. Su latencia disminuye con la edad, lo cual sugiere cambios en la velocidad de procesamiento después de los 12 años (Taylor & Pang, 1999).	Atención selectiva (Mangun & Hillyard, 1988)
N100	Onda negativa que aparece entre los 100-200 ms a continuación del componente	Facilitación atencional y discriminación sensorial, es sensible a la atención dirigida al

	P1.	estímulo al ser codificado (Mangun & Hillyard, 1991).
P200	Se presenta después del componente N1 con una latencia de 200 ms después de la presentación del estímulo (Mecklinger & Pfeifer, 1996).	Se asocia con la discriminación del estímulo relevante entre los no relevantes (Kenemans, Liffijt, Camfferman & Verbaten, 2002).
Complejo positivo lento (CPL)	Se ha observado durante el período de retención del estímulo en tareas de MT (Ruchkin, Johnson, Grafman, Canoune & Ritter, 1992).	Se asocia con la memorización del objeto durante el periodo de retención de dicho objeto.
P300	Onda positiva entre los 300 y los 800 ms después de presentado el estímulo.	Refleja la activación de un mecanismo que actualiza la representación de los estímulos almacenados en la MT y de procesos atencionales que los comparan con estímulos nuevos (Donchin & Coles, 1988).
P3a	Componente relacionado con el P300 que aparece en la zona frontal.	Se relaciona con la detección de un estímulo novedoso o inesperado (Friedman, Cycowicz & Gaeta, 2001).
P3b	Puede aparecer entre los 250 y 850 ms.	Si aparece de manera temprana se relaciona con la identificación del objeto. Su aparición tardía está relacionada con la recuperación de la memoria (Rushby, Barry & Doherty, 2005).

Potenciales Relacionados a Eventos y Capacidad intelectual alta

Desde mediados del siglo XX se ha considerado que la velocidad en el procesamiento es sinónimo de una mayor inteligencia (Chalke & Ertl, 1965). La teoría de la

eficiencia neuronal establece que la inteligencia es una muestra de qué tan eficiente es el trabajo del cerebro (Grabner, Neubauer & Stern, 1992). Ambas hipótesis hacen énfasis en la velocidad de procesamiento de los individuos con capacidad intelectual alta.

Se han encontrado diferencias en la inhibición de respuestas entre niños con capacidad intelectual alta y niños con capacidad intelectual media en estudios realizados con PREs durante la ejecución de tareas de tipo *Go/NoGo* (Xiaoju, Jiannong, Jianhui, Yi, Hirong, Guiqing, 2009).

En la investigación realizada por Xiaoju et al., (2009) se encontró que los niños con capacidad intelectual alta tuvieron significativamente menos errores de omisiones tanto en los ensayos tipo *Go* como en los ensayos tipo *NoGo*. La latencia de la onda P300 en las tareas tipo *Go* fue más corta en los niños con alta capacidad. Esto confirma la hipótesis de que la latencia de la P300 es un indicador de la velocidad de procesamiento, por lo cual se sugiere que los niños con capacidad intelectual alta pueden procesar más rápidamente la información (Zhang, Zaho & Xu, 2007).

El resultado más significativo fue que los niños con capacidad intelectual alta tuvieron una latencia menor en la onda P300 en las tareas *NoGo* comparada con los niños con capacidad promedio. La onda *NoGo-P3* está considerada como un indicador de la inhibición de respuestas (Bruin, Wijers & Van Staveren, 2001). Esto sugiere que los niños con capacidad intelectual alta pueden tener una inhibición más rápida y por lo tanto mayor habilidad para inhibir respuestas inadecuadas o estímulos irrelevantes (Xiaoju et al., 2009).

Un estudio realizado por Duan & Shi (2014) con 13 niños CIA y 13 niños con CIM en la realización de tareas de flexibilidad cognitiva tipo *switch* reveló que los niños con CIA se desempeñaron con mayor velocidad que el grupo de niños con capacidad promedio.

Igualmente la onda P300 mostró una amplitud cercana a la que aparece en los adultos en el grupo de niños con capacidad intelectual alta (Duan & Shi, 2014).

En los estudios realizados con niños y adolescentes se han observado diferencias en la amplitud y latencia de los componentes que indican diferencias en el desarrollo, ya que los niños necesitan involucrar más recursos cerebrales para resolver una tarea y alcanzar la misma eficiencia que los adolescentes, lo que es similar a lo que sucede entre los adolescentes y adultos jóvenes aún cuando los grupos presenten la misma ejecución (Cabeza, 2002).

CAPÍTULO 2- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las funciones ejecutivas son procesos de alta complejidad que han sido relacionadas con la capacidad intelectual de forma general sin que hasta el momento se haya propuesto una función específica o un grupo de funciones ejecutivas que sean más eficientes en las personas con CIA. Debido a que las funciones ejecutivas participan en el control, la regulación, la planeación eficiente y a que permiten que los sujetos se involucren en conductas útiles para sí mismos (Lezak, 1982), se ha considerado medir el control inhibitorio, la memoria de trabajo y la planeación en adolescentes con capacidad intelectual diferente para comparar su desempeño en las distintas tareas para responder a las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Existen diferencias conductuales en la ejecución de tareas ejecutivas de inhibición, memoria de trabajo y planeación entre los adolescentes con CIA y con CIM?
2. ¿Existen diferencias en los indicadores neurofisiológicos entre los adolescentes con CIA y CIM en la ejecución de tareas de memoria de trabajo?

Objetivo General

Comprobar si las diferencias en la capacidad intelectual influyen en el funcionamiento de la inhibición, la memoria de trabajo y la planeación en adolescentes con capacidad intelectual alta y con capacidad intelectual media y analizar si existen diferencias en los indicadores electrofisiológicos mediante los PREs en la memoria de trabajo.

Objetivos Específicos

1. Analizar si las diferencias en la capacidad intelectual se traducen en diferencias en eficiencia en tareas ejecutivas de inhibición, memoria de trabajo y planeación entre adolescentes con capacidad intelectual alta y adolescentes con capacidad intelectual media.
2. Comparar los indicadores neurofisiológicos mediante los PREs durante la ejecución de tareas experimentales de memoria de trabajo entre adolescentes con capacidad intelectual alta y capacidad intelectual media.

Hipótesis

1. Los adolescentes con capacidad intelectual alta tienen una mejor inhibición de respuestas preponderantes, mayor capacidad de memoria de trabajo y presentan una planeación más eficiente que los adolescentes con capacidad intelectual media.
2. Los adolescentes con capacidad intelectual alta presentan una menor latencia en los componentes de los PREs asociados a la memoria de trabajo que los adolescentes con capacidad intelectual media.

Justificación

Cuando se habla de procesos cognitivos durante el desarrollo es inevitable hablar de aprendizaje y desempeño académico porque es la principal actividad a la que los niños y adolescentes se dedican. El éxito futuro en la vida profesional depende en buena medida del rendimiento académico, ya que permitirá a los estudiantes la posibilidad de alcanzar estudios de nivel superior para tener acceso a mejores empleos.

Las funciones ejecutivas están estrechamente relacionadas a muchos procesos cognitivos necesarios para el aprendizaje y el éxito escolar. Sucede lo mismo con la capacidad intelectual. Las diferencias en la capacidad intelectual en los seres humanos también constituyen un factor importante en el éxito académico. Ambos constructos se relacionan de distintas formas y en diferentes ámbitos. El estudio interdisciplinar entre la psicología educativa y la neuropsicología presenta algunas dificultades teóricas y prácticas.

Sin embargo las aportaciones de estas dos áreas de la psicología aportarán datos que sirvan para mejorar las posibilidades de aprendizaje tanto de los estudiantes con capacidad intelectual alta como de aquellos con dificultades o trastornos de aprendizaje.

Entre las aportaciones del presente estudio se encuentra la observación conjunta de tres de las seis funciones ejecutivas propuestas por el modelo de Diamond (2013) medidas con tareas conductuales y vistas en conjunto, lo cual no se ha encontrado en los estudios revisados, que contemplan una o dos funciones ejecutivas relacionadas con la capacidad intelectual considerando cada función de manera independiente, además que compara el desempeño en tareas ejecutivas y en pruebas de inteligencia de dos grupos de adolescentes de acuerdo con su capacidad intelectual.

Otra aportación del estudio es la utilización de dos pruebas de inteligencia correspondientes a dos teorías distintas. El test de matrices progresivas de Raven (1938) ha sido utilizado durante varias décadas para medir razonamiento abstracto, que corresponde a la inteligencia fluida y la batería de evaluación de la inteligencia Cervantes ha sido diseñada de acuerdo a la teoría triárquica de inteligencia de Sternberg (1996) que además del razonamiento abstracto incluye la inteligencia práctica y la inteligencia sintética.

El presente trabajo aportará datos en el campo de la neuropsicología que permitirán un mejor conocimiento sobre el funcionamiento ejecutivo en la adolescencia y su relación con la capacidad intelectual que contribuya para una mejor comprensión de las diferencias en la inteligencia humana.

Definición Operacional de Variables

Capacidad intelectual.

El concepto de capacidad intelectual hace referencia a características que implican determinados puntajes en pruebas de inteligencia. Para determinar la capacidad intelectual de los participantes se utilizaron dos pruebas: el Test de Matrices Progresivas de RAVEN y la Batería de Evaluación de inteligencia Cervantes. Los adolescentes que obtuvieron un puntaje para una ubicación igual o superior al percentil 90 en ambas pruebas se consideraron de capacidad intelectual alta (CIA) y los que obtuvieron un puntaje que los ubicó en el percentil cincuenta fueron considerados de capacidad intelectual media (CIM).

Inhibición de respuestas.

Se entiende como la capacidad para demorar o detener una respuesta en curso. Para medirla se utilizó una tarea de tipo *Stop Signal*. Dicha tarea está basada en el método de exploración clínica de Luria (1986). El ejercicio permite evaluar la regulación voluntaria de la actividad mediante la inhibición de respuestas. Se evaluaron tres indicadores. El reconocimiento del objeto para evaluar atención sostenida con el estímulo *Go*, que consiste en realizar una acción ante la aparición de un estímulo en la pantalla. La inhibición simple que consiste en detener una acción ante un estímulo previamente acordado (*NoGo*) y la inhibición compleja que consiste en inhibir una acción en curso ante un estímulo aleatorio e inesperado (*Stop Signal*).

Memoria de trabajo.

Se considera la memoria de trabajo como la capacidad para retener y manipular información que proviene de los sentidos. Para medirla se utilizó la tarea experimental N-Back de tipo visual en las modalidades 1, 2 y 3-Back. Dicha tarea consiste en pedir a los sujetos que identifiquen una serie de estímulos y que indiquen si el estímulo presentado es el mismo que se presentó en ensayos anteriores. Se registrará el número de respuestas correctas en memoria y el número de errores de comisión. Esta tarea se midió de manera conductual y electrofisiológica mediante PREs.

Planeación.

La planeación se entiende como la capacidad para integrar, secuenciar y desarrollar los pasos necesarios para la consecución de metas a corto, mediano o largo plazo (Collins & Koechlin, 2012; Diamond, 2013). Para evaluar esta función se utilizó la Torre de Londres (TOL) modificada (Ocampo, 2014). Se registró el número de movimientos perfectos, el número de movimientos excedidos y el tiempo inicial.

CAPÍTULO 3-MÉTODOS

Diseño y Tipo de Estudio

La presente investigación tiene un diseño cuasi experimental de grupo de comparación no equivalente. Según Hernández Sampieri, las investigaciones cuasi experimentales consisten en estudios que manipulan al menos una variable independiente para observar su relación con otras variables. Difieren de las experimentales en que los grupos están intactos y por lo tanto pueden resultar no equivalentes (Hernández-Sampieri, 2006). En esta investigación las variables dependientes se manipulan mediante estímulos presentados en laboratorio para comparar dos grupos.

Participantes

Participaron 770 alumnos de la Secundaria Técnica No. 18 en la ciudad de Cuernavaca, Morelos, cuyas edades varían entre 12 y 15 años, la distribución por grado, género y edad se puede observar en la tabla 5. Se aplicó a esta población el Test de matrices progresivas de Raven para la selección de los participantes. Adicionalmente se aplicó a 429 de los 770 participantes (Tabla 6) la Batería Cervantes de evaluación de la inteligencia, la cual está basada en la teoría triárquica de la inteligencia de Sternberg (1997). Se consideró el puntaje general y se obtuvieron los percentiles para seleccionar a los participantes.

Se detectaron 101 participantes con puntajes ubicados en el percentil 90 o superior del test de Raven, de los cuales 62 fueron confirmados con la Batería Cervantes. El grupo de capacidad intelectual alta (CIA) quedó conformado por 62 adolescentes ubicados en el

percentil 90 o superior. Para formar el grupo con capacidad intelectual media (CIM) fueron seleccionados 62 participantes ubicados en el percentil 50 y confirmados con la Batería Cervantes. La distribución de los dos grupos por edad y género se observa en la tabla 7.

Tabla 5.

Distribución por género y edad de los participantes en la aplicación del test de Raven.

Grado	Hombres	Mujeres	Edad	Total
1°	135	119	12	254
2°	99	138	13	237
3°	87	142	14	229
	24	26	15	50
TOTAL	346	424		770

Tabla 6.

Distribución de los participantes en la aplicación de la Batería de Evaluación de la Inteligencia Cervantes

Grado	Hombres	Mujeres	Edad	Total
1°	57	44	12	101
2°	89	91	13	180
3°	46	60	14	106
	20	22	15	42
Total	212	217		429

Tabla 7. Distribución de los grupos de estudio por género y edad.

Edad	Hombres CIA	Hombres CIM	Hombres CIA	Hombres CIM
12 años	5	11	2	4
13 años	6	5	9	10
14 años	15	10	14	12
15 años	5	5	6	5
Total	31	31	31	31

Para el estudio electrofisiológico se invitó a participar a un subgrupo de 40 adolescentes, 20 con capacidad intelectual media y 20 con capacidad intelectual alta. Se utilizó la tarea experimental de memoria de trabajo tipo N-Back en dos niveles (1 y 2). El grupo quedó conformado por 17 adolescentes del grupo de CIA y 17 del grupo de CIM (Tabla 8). Se proporcionó a los padres de familia la carta de consentimiento informado y a los adolescentes la carta de asentimiento informado, adicionalmente se pidió autorización a las autoridades de la escuela.

Tabla 8. Distribución por género y edad de los participantes en los registros electrofisiológicos.

Edad	Hombres CIA	Hombres CIM	Mujeres CIA	Mujeres CIM
12 años	3	5	1	3
13 años	3	1	2	3
14 años	2	2	2	1
15 años	3	1	1	1
Total	11	9	6	8

Batería de evaluación de la inteligencia Cervantes.

La batería tiene como finalidad conocer el nivel de desarrollo de la capacidad de razonamiento, identificar los retrasos en el desarrollo intelectual e identificar el talento

intelectual. Se compone de tres módulos: Semejanzas, Analogías y Contextos. Está basada en la teoría triárquica de la inteligencia de Sternberg (1997).

La prueba consta de 140 ítems ordenados de forma ascendente según el grado de dificultad. Los ítems son exclusivamente imágenes que permiten establecer semejanzas, formar categorías o encontrar analogías. A diferencia del test de matrices progresivas de Raven, la batería consta de tres diferentes escalas. La primera se denomina semejanzas y está relacionada con la inteligencia práctica, la cual es un proceso de selección de una respuesta de adaptación al medio, que se basa en la utilización de soluciones que el participante ha utilizado anteriormente y que conserva en la memoria.

La segunda escala se denomina contextos y se relaciona con la inteligencia creativa, que constituye un proceso cognitivo de selección de una respuesta basada en la elaboración de un producto o proceso nuevo mediante la combinación de procesos anteriores. La tercera escala denominada analogías se refiere a la inteligencia lógica, que se basa en el análisis y la comparación de los diversos elementos que se muestran en la prueba. El tiempo de aplicación es de 20 a 30 minutos.

Esta batería ha sido aplicada en más de cincuenta centros escolares en España. Tiene la ventaja de que tiene nula o escasa influencia del lenguaje y de contenidos curriculares. Los puntajes de las tres escalas permiten obtener el cociente intelectual. Debido a que la prueba fue creada para población española y no existen normas para población mexicana se utilizaron percentiles.

Instrumentos

Test de matrices progresivas de Raven.

Como primer instrumento de selección se utilizó el Test de matrices progresivas de Raven, el cual se compone de series incompletas de figuras abstractas. El test es de tipo no verbal, perceptual, de observación, comparación y razonamiento analógico. Se administra por grupo y su aplicación tiene una duración aproximada de media hora. Es un instrumento diseñado para evaluar la capacidad intelectual para comparar formas y razonar por analogía.

La escala general se divide en cinco series, de la A a la E con 12 problemas ordenados de manera creciente según la dificultad, de tal forma que el último de una serie resulte más difícil que el primero de la siguiente. Los puntajes se expresan en percentiles y los criterios de normalidad se ubican entre el percentil 16 y el percentil 84. Esta escala fue construida para evaluar la capacidad inmediata del participante para la observación y el pensamiento abstracto, así como la capacidad máxima para establecer comparaciones y razonar por analogía. Es considerada una prueba para medir inteligencia fluida (Cattell, 1963).

La prueba se desarrolló a mediados de los años 30's del siglo XX y se revisó y estandarizó en 1938 en Ipswich, Inglaterra (Raven, 1941). Durante la segunda guerra mundial se llevó a cabo otra estandarización con estudiantes de Colchester, Inglaterra (Raven y Walshaw, 1944). En la década de los 50's y 60's nuevamente se estandarizaron y se examinó la hoja de respuestas en una muestra de 3700 estudiantes irlandeses. Se han obtenido datos normativos en diferentes países del mundo, incluyendo a países hispanoparlantes como España (Rodao, 1982) Argentina (Cayssials, Albajari y Aldrei,

1993), Uruguay (Ardoíno y Santín, 1999) y Chile (Ivanovic, Forno, Duran, Castro e Ivanovic, 2000).

En lo que respecta a México podemos encontrar un trabajo publicado por Galvis, Galvis y de La Rosa (1960) que fue realizado en el Distrito Federal y en el que aplicaron 3,835 pruebas, con una submuestra de 1,943 participantes en los que se registró la edad y la escolaridad. Los participantes tenían una edad de 11 años hasta mayores de 23 años (sin que se reporte el límite superior exacto).

Desde su estandarización en norteamérica se han publicado numerosos estudios sobre la confiabilidad del test que abarcan más de 22, 000 estudiantes. Hoffman (1983) y Jensen (1980) han demostrado que a pesar de que los participantes de diferente origen étnico obtienen distintos puntajes medios, el rendimiento y las líneas de rendición son paralelos en todos los grupos étnicos y tienen la misma validez predictiva.

Paradigma experimental *Stop Signal* (Señal de Alto).

Este paradigma se utiliza para medir el control inhibitorio, tiene su origen en el “Modelo de carrera de caballos” y mide dos procesos inhibitorios con dos niveles de complejidad. El primer nivel se compone de dos tipos de estímulos, uno denominado *Go* (Avanzar) ante el cual el participante debe realizar una acción y otro denominado *NoGo* (No avanzar) que indica no realizar una acción ante un estímulo determinado. Se considera una inhibición simple porque el participante espera la señal para inhibir una respuesta preponderante y hace lo que se le indicó.

El segundo nivel implica mayor complejidad en la inhibición debido a que consiste en detener una respuesta en curso ante un estímulo inesperado que aparece aleatoriamente en la pantalla (Williams, Ponesse, Schachar, Logan & Tannock, 1999).

La tarea fue presentada en pantallas de computadoras portátiles en las que se mostraron a los participantes una cuadrícula con ocho posiciones donde aparecería un círculo de color azul. El participante debía oprimir una tecla ante la aparición de un círculo azul en cualquier posición (*Go*) excepto en la esquina superior izquierda (*NoGo*), el círculo azul se mostró durante 300 mseg. Adicionalmente tendría que detener su respuesta ante la palabra ¡Alto!, la cual se mostraba 200 mseg después de la aparición del círculo azul (*Stop Signal*).

Se utilizó el software E-Prime versión 2.0. La tarea consistió en 258 estímulos, de los cuales 206 fueron de tipo *Go* (Avanzar), 31 de tipo *NoGo* (No avanzar) y 21 de tipo *Stop Signal* (Señal de Alto). En la figura 3 se muestra un ejemplo de los tres tipos de estímulo. El tiempo de aplicación fue de aproximadamente 15 minutos.

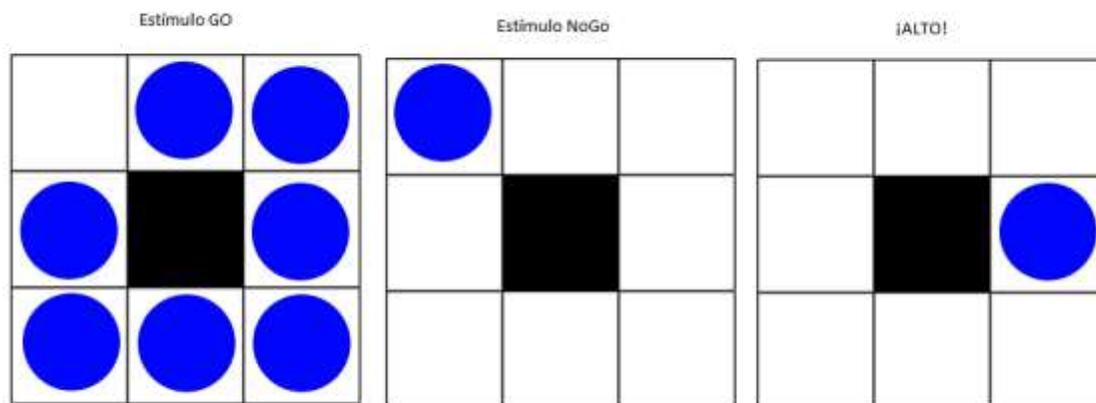


Figura 3. Estímulos presentados en la tarea Stop Signal

Paradigma experimental tipo N-Back.

Este paradigma ha sido utilizado para investigar las bases neurales de la memoria de trabajo. Para ello se requiere que el participante observe una serie de estímulos para responder si el estímulo ha sido presentado un número determinado de ensayos antes,

generalmente 1, 2 ó 3. Se requiere de monitoreo en línea, actualización y manipulación para recordar la información que se solicita (Owen, McMillan, Laird & Bullmore, 2005).

La tarea fue programada mediante el software E-Prime versión 2.0., consistió en mostrar los estímulos en el monitor de una computadora portátil y pedir a los participantes que identificaran y oprimieran el número 1 en el teclado de la computadora si el estímulo que observaron es igual a uno visto anteriormente. El paradigma se presentó en tres niveles de complejidad: 1, 2, 3- Back.

Los estímulos consistieron en figuras abstractas que se mostraron en el monitor de manera aleatoria durante 1200 mseg, adicionalmente el participante contaba con 800 mseg para dar su respuesta. El tiempo de aplicación fue de aproximadamente 30 minutos, 10 minutos por cada nivel. En la versión 1-back se presentaron 25 estímulos que se repitieron en parejas presentadas en un ensayo inmediato anterior (memoria) y 55 estímulos que no se repitieron en ese orden. En la ejecución de esta tarea se utiliza únicamente la codificación del objeto y la memoria inmediata.

En la versión 2-back se presentaron 24 estímulos que se repitieron en parejas presentadas con un estímulo de interferencia (memoria) y 56 estímulos que no se repitieron en ese orden (sin memoria). En la versión 3-back se presentaron 16 estímulos en parejas presentadas con dos estímulos de interferencia (memoria) y 68 estímulos que no se repitieron en ese orden (sin memoria). En las figuras 4, 5 y 6 se muestra un ejemplo de las tareas.



Figura 4. Ejemplo de la presentación de estímulos Nback-1. Se debe oprimir la tecla con el número 1 cuando se repite el primer estímulo sin interferencias.



Figura 5. Ejemplo de la presentación de estímulos Nback-2. Se debe oprimir la tecla con el número 1 cuando se repite el segundo estímulo con un estímulo de interferencia.



Figura 6. Ejemplo de la presentación de estímulos Nback-3. Se oprime la tecla con el número 1 cuando se repite el tercer estímulo después de dos interferencias.

Torre de Londres modificada.

La planeación es una función ejecutiva considerada de alto nivel (Diamond & Lee, 2011), debido a que permite la resolución de problemas, especialmente en situaciones novedosas. La Torre de Londres (TOL) es un instrumento ampliamente utilizado para medir la capacidad de planeación. Fue propuesto por Shallice (1982) para detectar posibles alteraciones en la planeación. Desde su diseño ha sufrido diversas modificaciones que consisten en el aumento del número de ensayos y la creación de ensayos diferentes a la versión original, que cuenta con 10 ensayos con un grado de dificultad que varía de 3 a 7 movimientos máximos para realizar soluciones perfectas. En el presente trabajo se utilizó la Torre de Londres (TOL) modificada a 21 ensayos (Ocampo & Téllez, 2015).

El material de esta prueba consiste en dos tableros iguales, el primero para el evaluador y el otro para el participante. En cada tablero se encuentran tres postes de diferente tamaño con tres pequeñas pelotas de colores verde, azul y rojo que pueden ser colocadas en los tres postes (Figura 7). La tarea consiste en copiar diferentes modelos propuestos por el evaluador en el menor número de movimientos posibles. Las instrucciones y reglas se dan de manera verbal y se lleva a cabo un ensayo. Se utilizaron los siguientes indicadores de planeación:

1. Movimientos excedentes (Culbertson & Zilmer, 1998). Este indicador considera el número de movimientos que exceden al máximo permitido para solucionar el problema. Cuando no hay una planeación adecuada el participante tendrá que organizar de nuevo su ejecución y por consecuencia el número de movimientos será superior al máximo permitido. En la versión clínica se utilizan problemas con 7

movimientos para la solución perfecta. En la versión utilizada para el presente trabajo se utilizan además problemas con 8 movimientos para la solución perfecta.

2. Soluciones perfectas: Son aquellos ensayos que son resueltos sin movimientos excedentes. Se utiliza como indicador de una planeación exitosa (Culbertson & Zilmer, 1998; Owen, 1997).
3. Tiempo de planeación: Se contabiliza desde que el participante ve el modelo hasta que realiza el primer movimiento (Culbertson & Zilmer, 1998). Este lapso de tiempo se ha relacionado con la capacidad para realizar un plan que lleve a la solución de un problema. Cuando el participante toma más tiempo para planear sus pasos tendrá una ejecución más efectiva para solucionar el problema que se le presenta.

Para el registro de los indicadores se cronometra el tiempo transcurrido entre la presentación del modelo y el inicio del movimiento del sujeto (tiempo inicial o de planeación), el tiempo de ejecución y el tiempo total, que consiste en la suma de los dos anteriores. De igual forma se cuentan los movimientos totales por cada ensayo y se resta el total de los movimientos permitidos para obtener los movimientos excedentes. Los ensayos que no tengan movimientos excedentes se considerarán soluciones perfectas. La prueba consta de 21 problemas, los cuales requieren desde 3 hasta 8 movimientos totales. El tiempo de aplicación es de aproximadamente 20 minutos.



Figura 7. Ejemplo de los tableros utilizados en la prueba Torre de Londres.

Registro electrofisiológico.

Para los registros electrofisiológicos se utilizaron dos computadoras y tres monitores. La tarea de memoria de trabajo fue programada mediante el software E-Prime versión 2.0., consistió en mostrar los estímulos uno de los monitores y pedir a los participantes que identificaran y oprimieran el número 1 en el teclado de la computadora si el estímulo que observaron es igual a uno visto anteriormente. El paradigma se presentó en dos niveles de complejidad: 1 y 2- Back. El nivel 3-Back no se consideró debido al bajo desempeño de los participantes en la etapa conductual.

La segunda computadora se encargó del registro del electroencefalograma mediante el software Neuroscan V. 4.0. Se utilizó el sistema internacional 10/20 con uso de electrodos Ag, con una tasa de muestreo de 500 puntos a una frecuencia entre 0.5 y 30Hz. El electroencefalograma continuo se grabó en 14 puntos en el cuero cabelludo, que corresponden a las posiciones Fz, CZ, Pz, OZ, F3, C3, P3, T3, O1, F4, C4, P4, T4 y O2 con referencia en el lóbulo de la oreja izquierda.

Procedimiento

El proyecto se inició con la solicitud al director de educación secundaria del Instituto de Educación Básica del Estado de Morelos, Mtro. Aurelio V. Merino para llevar a cabo las evaluaciones de la inteligencia y las tareas experimentales en las instalaciones de la Secundaria Técnica No. 18. La autorización fue concedida y ratificada por el Prof. Ricardo Mijangos Carro para dar inicio el 12 de noviembre de 2015.

El proceso de detección de participantes inició con la aplicación del test de matrices progresivas de Raven y de la Batería Cervantes de evaluación de la inteligencia, que se llevó a cabo entre el 12 de noviembre y el 18 de diciembre de 2015.

Se seleccionaron a los participantes de ambos grupos para iniciar con el registro conductual, el cual se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la escuela, en el área reservada para la biblioteca. Para la ejecución de las tareas experimentales se utilizaron 5 computadoras portátiles. Para establecer el orden de presentación de las tareas se utilizó el método de contrabalanceo. Se presentaron los mismos estímulos a todos los participantes, los cuales consistieron en tres tareas de memoria de trabajo tipo N-Back (1, 2, 3), una tarea de inhibición tipo *Go/NoGo* y la torre de Londres modificada. El registro conductual se llevó a cabo del 10 de enero al 18 de marzo de 2016.

Una vez finalizados los registros conductuales se entregó a la escuela un reporte por escrito con los resultados más relevantes para contribuir a un mejor conocimiento de los alumnos, de manera que se identificaron aquellos con necesidades educativas especiales por pertenecer al grupo de capacidad intelectual por debajo del promedio o a los de capacidad intelectual alta, así como aquellos que presentaron un desempeño pobre en las tareas ejecutivas.

El registro electrofisiológico se llevó a cabo entre el 1 de diciembre de 2016 y el 29 de septiembre de 2017. Para ello se realizó el registro digital del electroencefalograma durante la ejecución de las tareas conductuales tipo N-Back para memoria de trabajo. Participaron 17 adolescentes con CIA y 17 con CIM.

Análisis de Datos

Para la realización de todos los análisis estadísticos se utilizó el software STATISTICA 64 v.10.0 de la siguiente forma:

Datos conductuales

- Los aciertos de las dos pruebas de capacidad intelectual se relacionaron empleando la prueba de correlación de Pearson.
- Para comparar los aciertos de las tareas Stop-signal y Torre de Londres entre los dos grupos se utilizaron las pruebas estadísticas t de Student. En cambio, para la tarea N-back se emplearon dos Análisis de Varianza (ANOVA por sus siglas en inglés) mixto, uno para aciertos y otro para errores. El diseño incluyó el factor intragrupo de capacidad de la memoria de trabajo con tres niveles (1, 2, 3) y el factor entregupo con dos niveles (CIA y CIM).

Datos fisiológicos

- Se analizó la amplitud media de los PREs con 10 ANOVAs mixtos para N1, uno por cada ventana de 100 mseg y otros 10 ANOVAs mixtos para N2, igualmente para cada ventana de 100 mseg. El diseño del análisis incluyó el factor memoria con dos niveles (con y sin) y el factor grupo (CIA, CIM).
- Se realizaron análisis por separado para los electrodos centrales y laterales. Para la codificación de los datos en los electrodos centrales se emplearon los factores memoria de trabajo en dos niveles, grupo y electrodo (FZ, CZ, PZ y OZ).
- Para la codificación de los datos laterales se utilizó el factor memoria en dos niveles, el factor grupo y electrodo (F3/4, C3/4, P3/4, T3/4 y O3/4).

- Se utilizó el método de Greenhouse y Géisser (Jennings & Wood, 1976) para corregir los resultados de los ANOVAs. Se empleó la prueba de *post hoc* de Honestidad de Turkey para explorar las interacciones entre sujetos y la prueba t con corrección de Bonferroni para analizar la interacción intragrupos y entre grupos.

CAPÍTULO 4-RESULTADOS

Datos Conductuales

Capacidad intelectual.

Se llevó a cabo un análisis de correlación de Pearson entre el test de matrices progresivas de Raven y la batería de evaluación de la inteligencia Cervantes. Se consideraron los puntajes obtenidos por el grupo experimental y el grupo control. Se encontró una correlación significativa entre ambas pruebas de manera global y con todas las subescalas de la batería Cervantes y el test de Raven, como se observa en la tabla 9.

Tabla 9.
Correlaciones de Pearson entre el Test de matrices progresivas de RAVEN y la Batería de evaluación de inteligencia Cervantes.

	Cervantes			
	Analogías	Semejanzas	Contextos	General
Test de Matrices Progresivas de Raven	.69**	.53**	.55**	.98**

**La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Inhibición de respuestas preponderantes.

La tarea *Stop Signal* contiene tres tipos de estímulos. Los estímulos *Go* consisten en oprimir una tecla cuando aparece en la pantalla un estímulo en 8 de las 9 posiciones posibles. Este ejercicio evalúa la atención sostenida y se contabilizan los aciertos. Los resultados muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los dos grupos (Tabla 10). El grupo de ACI mostró una mayor cantidad de aciertos que indican que este grupo tiene una atención sostenida más eficiente que el grupo con CIP.

Los estímulos *NoGo* se utilizan para medir inhibición simple, la cual consiste en inhibir una respuesta ante una condición previamente establecida. En este caso cuando el estímulo aparece en una posición específica. Se encontraron diferencias significativas entre los grupos ($p < 0.05$). El grupo de ACI mostró una ejecución más eficiente, que indica una mejor inhibición simple.

La señal de alto, (Stop Signal) requiere de una inhibición compleja, donde el participante debe detener una acción en curso ante una señal de alto que aparece inesperadamente y de forma aleatoria. No se encontraron diferencias entre los dos grupos. Este tipo de inhibición alcanza su máximo nivel de desarrollo después de los 15 años (Anderson et al., 2001). Los tres grupos se encuentran en proceso de desarrollo del control inhibitorio complejo.

Tabla 10.

Comparación de aciertos expresados en porcentajes de la ejecución de las tareas go, Nogo y Stop Signal. N=124

	CIA		CIM		<i>t</i>	<i>p</i>
	<i>Media</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Media</i>	<i>Error Estándar</i>		
Tarea tipo Go	99 %	0.2	94 %	2.2	2.4	0.017**
Tarea tipo NoGo	86.3%	1.5	77.6%	3.1	2.5	0.014**
Tarea tipo Stop Signal	65%	2.7	64%	3	0.3	0.79

***diferencia significativa en el nivel 0.01 (bilateral)*

Memoria de trabajo.

El análisis de resultados de las tres tareas de memoria de trabajo de acuerdo con la condición de la aplicación se llevó a cabo mediante la prueba t de Student.

Los resultados de la tarea 1-back se observan en la tabla 11. Se encontraron diferencias significativas tanto en el porcentaje de aciertos como en los errores de comisión ($p < 0.05$). Estos resultados son consistentes con lo encontrado en la tarea de inhibición, donde el grupo de capacidad intelectual alta tuvo una ejecución cercana al 100%. Para la realización de esta tarea se requiere de atención sostenida.

Tabla 11.

Comparación de aciertos expresados en porcentajes de la tarea 1-back.

N=124

	CIA		CIM		<i>t</i>	<i>p</i>
	<i>Media</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Media</i>	<i>Error Estándar</i>		
Aciertos	87%	1.4	80.1%	1.9	2.8	0.00*
Errores de Comisión	4.1%	1.1	8.4%	1.7	-2	0.04*

**diferencia significativa en el nivel 0.05 (bilateral)*

En el análisis de los resultados de la tarea de memoria de trabajo tipo 2-back (Tabla 12) se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los grupos tanto en el porcentaje de aciertos como en los errores de comisión. En esta tarea se requiere de la memoria de trabajo ya que el participante debe recordar el estímulo que vio antes de una interferencia, y comparar dicha interferencia con la figura anterior. El grupo con CIA tuvo un mayor número de aciertos y un menor número de errores de comisión, lo cual indica que la memoria de trabajo en este grupo es más eficiente que en el grupo con CIM.

Tabla 12.

Comparación de medias en la tarea 2-back. N=124

	CIA		CIM		<i>t</i>	<i>p</i>
	<i>Media</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Media</i>	<i>Error Estándar</i>		
Aciertos	57%	2	49%	3	2.3	0.025*
Errores de comisión	19%	2	27%	2.5	-2.3	0.024*

*diferencia significativa en el nivel 0.05 (bilateral)

En el análisis la tarea de memoria de trabajo tipo 3-back los resultados no muestran diferencias significativas (Tabla 13). El grupo de CIA tuvo un porcentaje de aciertos ligeramente superior al de CIM sin llegar a ser significativa. Esta tarea tiene mayor complejidad que las dos anteriores y requiere una manipulación de la memoria más precisa. Lo que se observa es que los dos grupos tienen una ejecución por debajo del 50%. Por lo tanto no puede descartarse que las respuestas fueran al azar.

Tabla 13.

Comparación de medias en la tarea 3-back. N=124

	Alta capacidad		Capacidad Promedio		<i>t</i>	<i>p</i>
	<i>Media</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Media</i>	<i>Error Estándar</i>		
Aciertos	46%	2.6	46.1%	2.8	-0.13	0.9
Errores de comisión	27.3%	3	29.3%	2.5	-0.5	0.6

*diferencia significativa en el nivel 0.05 (bilateral)

Planeación.

El análisis de comparación de medias de los indicadores de planeación se realizó mediante la prueba t de Student. Se encontraron diferencias significativas en todos los indicadores de planeación (Tabla 14).

Tabla 14.

Comparación de medias de indicadores de planeación en la Torre de Londres modificada.
N=124

	CIA		CIM		t	p
	Media	Error Estándar	Media	Error Estándar		
Soluciones Perfectas (21)	9.7	0.3	8.7	0.3	2.3	0.02*
Total de Movimientos Excedentes	52	1.6	61	2	-3.4	0.00*
Suma del tiempo de planeación (seg)	106s	10.1	80.2s	6.4	2.2	0.02*

*diferencia significativa en el nivel 0.05 (bilateral)

Datos electrofisiológicos

Se realizó el registro electrofisiológico en 34 participantes entre 12 y 15 años. Se llevó a cabo el análisis de varianza (ANOVA) mixto para 10 temporalidades, de 0-1000ms. Los resultados de los dos grupos fueron comparados en las tareas 1-back y 2-back. En la tarea 1-back se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los aciertos de memoria inmediata (cuando se reconoce el estímulo) y los aciertos de atención (cuando no se realiza ninguna acción), en las temporalidades de 0-99 ms, 100-200 ms, 601-700 ms, 701-800 y 801-900. No se encontraron diferencias en la ejecución entre los dos grupos (Tabla 15).

En la tarea 2-back se encontraron diferencias significativas entre los aciertos donde interviene la memoria de trabajo (cuando se reconoce el estímulo) y los aciertos donde no interviene la MT (no se realiza una acción) en las temporalidades 100-200 ms y 501-600

ms. También se encontraron diferencias significativas en la interacción entre la memoria de trabajo, el grupo y los electrodos en la temporalidad 100-200 ms y 601-700 ms. Se encontraron diferencias entre los grupos en las temporalidades 0-99 ms, 100-200 ms y 201 a 300 ms (Tabla 16).

Tabla 15.

ANOVA de medidas repetidas 1-back.

MT	Memoria (gl =1, 34)		Memoria x electrodo (3, 102)		Grupo (gl =1, 34)		Grupo X electrodo (3, 102)		Memoria x grupo (gl =1, 34)		Memoria x grupo x electrodo (gl =3, 102)	
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
0-99 ms	3.1	0.08	1.22	0.3	0.9	0.3	1	0.3	2.4	0.1	1	0.4
100-200 ms	8.2	0.00*	2	0.1	0.5	0.5	0.5	0.8	1	0.3	1	0.4
201-300 ms	6.8	0.01*	0.7	0.6	0.5	0.5	0.1	0.9	0.07	0.7	0.1	0.9
301-400 ms	1.8	0.18	1.1	0.3	0.2	0.6	0.3	0.8	0.2	0.7	0.4	0.7
401-500 ms	1.6	0.2	1.4	0.2	0.5	0.5	0.6	0.6	0.4	0.5	0.5	0.7
501-600	3.6	0.06	3.2	0.02*	0.1	0.7	0.3	0.8	0.1	0.7	0.6	0.6
601-700	7.8	0.00*	3.4	0.02*	0.2	0.6	1.5	0.2	0.6	0.4	1	0.3
701-800	8.3	0.00*	1.1	0.3	2.4	0.1	2.2	0.08	0.9	0.3	0.1	0.9
801-900	6.7	0.01*	0.2	0.8	2.2	0.1	1.8	0.2	0.9	0.3	0.3	0.8
901-1000	1.8	0.2	0.2	0.9	1.6	0.2	0.6	0.6	1	0.3	0.4	0.7

*diferencia significativa en el nivel 0.05 (bilateral)

Tabla 16.

ANOVA de medidas repetidas 2-back.

MT	Memoria (gl =1, 32)		Memoria x electrodo (3, 96)		Grupo (gl =1, 32)		Grupo X electrodo (3, 96)		Memoria x grupo (gl =1, 32)		Memoria x grupo x electrodo (gl =3, 96)	
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
0-99 ms	0.7	0.4	2	0.1	5.1	0.03*	0.7	0.4	0.1	0.7	0.2	0.6
100-200 ms	5.7	0.02*	5.3	0.02*	8.7	0.00*	1.3	0.2	3.5	0.06	7.5	0.00*
201-300 ms	3.9	0.06	0.02	0.9	4.9	0.03*	0.1	0.7	0	1	1	0.3
301-400 ms	2	0.1	0	1	0.1	0.7	2.9	0.1	1	0.3	0	0.8
401-500 ms	1	0.3	1	0.3	2.7	0.1	2.4	0.1	0.5	0.5	1.4	0.2
501-600	8	0.00*	5	0.03*	0.05	0.8	0.05	0.8	0.5	0.5	1	0.3
601-700	0.1	0.7	1.5	0.2	0	1	5.9	0.02*	0.7	0.4	5	0.03*
701-800	0	1	0.5	0.5	2.3	0.1	0.1	0.09	0.5	0.5	0	0.8
801-900	1.5	0.1	0.5	0.5	2.4	0.1	0	0.8	0.2	0.7	2	0.2
901-1000	3.1	0.1	0.7	0.4	1.6	0.2	0.5	0.5	2.5	0.2	0.6	0.3

CAPÍTULO 5- DISCUSIÓN

Los análisis realizados de la ejecución de las tareas conductuales nos indican que existe una relación entre el funcionamiento ejecutivo y la capacidad intelectual en las tres funciones ejecutivas evaluadas.

A diferencia del estudio de Friedman et al., (2006) en el cual se encontró que la inhibición no tuvo una correlación significativa con el cociente intelectual (Friedman, Miyake, Young, DeFries, Corley & Hewitt, 2008), en el presente estudio en las tareas de inhibición se encontraron diferencias que indican que los participantes de ACI tienen una atención más eficiente en los estímulos *Go* y una mejor inhibición simple en respuesta a los estímulos *NoGo*, ya que pudieron identificar mejor cuando debían oprimir una tecla y cuando no, dependiendo de la posición del estímulo. En el caso de la inhibición compleja ambos grupos se encuentran en proceso de desarrollo de este tipo de inhibición, lo cual es consistente con los estudios sobre desarrollo que indican que alcanza su desarrollo pleno después de los 15 años (Anderson et al., 2001).

En la comparación de la ejecución de los grupos en la atención sostenida y los dos niveles de inhibición con respecto a los adultos, la ejecución del grupo con ACI en la tarea *go* se encuentra en el mismo nivel que la ejecución de adultos sanos (Williams, Ponesse, & Schachar, 1999), mientras que el grupo de adolescentes con CIM se encuentra por debajo de la ejecución de los adultos.

La inhibición simple requiere de procesos selectivos más flexibles porque la persona debe tomar una decisión, lo cual implica una mayor demanda cognitiva para inhibir una respuesta ante un estímulo pero no ante otro (De Jong, Coles & Logan 1995). En este tipo

de inhibición el grupo con ACI tuvo un desempeño más eficiente que el grupo con CIM. A pesar de ello ambos grupos se encuentran todavía por debajo de la ejecución de los adultos, lo cual indica que está en proceso de desarrollo (Bedard, Nichols, Barbosa, Schachar, Logan & Tannock, 2002; Williams et al., 1999).

En el caso de la inhibición compleja no hubo diferencias en la ejecución de los dos grupos ante el estímulo de alto (*Stop Signal*). Esta tarea requiere que el participante sepa que puede aparecer una orden contradictoria ante la cual debe detener su respuesta ya iniciada. Los dos grupos tuvieron dificultades para detener su respuesta y se dejaron llevar por el primer estímulo que apareció en la pantalla, en este caso el círculo en una posición que indicaba oprimir una tecla. Esta última tarea requiere de un tipo de inhibición más compleja porque el participante debe tener en cuenta el lugar donde aparece el estímulo, después determinar si debe realizar una acción o no y por último debe atender a la señal de alto sin importar las instrucciones previas.

Este tipo de inhibición genera un control de alto orden en el sistema que permite la autorregulación de la conducta (Goldman-Rakic, 1987; Logan & Cowan, 1984; Logan, 1994). Se describe como la habilidad de detener repentina y completamente una acción en curso. Este control es fundamental en la vida diaria, en situaciones en las que un individuo se ve en la necesidad de detener repentinamente una acción programada con anterioridad. Ambos grupos se encuentran en proceso de desarrollo, lo cual es consistente con los estudios de Anderson et al., (2000), quienes refieren que la inhibición alcanza su máximo desarrollo después de los 15 años.

Estos resultados indican que los adolescentes con mayor capacidad intelectual presentan un control atencional más cercano a los adultos que a su grupo de edad pero que los dos tipos de inhibición evaluados todavía se encuentran en proceso de desarrollo a pesar

de que el grupo con CIA tuvo un mejor desempeño en la inhibición simple. Los resultados son consistentes con estudios que indican que los niños y adolescentes con CIA tienen un desempeño en tareas cognitivas equivalente a grupos de mayor edad (Geake, 2007).

En el caso de la memoria de trabajo se observaron diferencias significativas en los dos primeros niveles. En la tarea 1-back se evalúa la memoria inmediata y no la memoria de trabajo propiamente dicha. Debido a que este ejercicio no presenta interferencias entre estímulos, no se requiere una manipulación de la memoria. El participante debe recordar si la figura que vio previamente es igual a la que ve inmediatamente después y debe decidir si genera una respuesta o no. Este ejercicio sirve de referencia para realizar eficientemente las tareas de memoria de trabajo más complejas, como se pudo observar en la segunda tarea.

El proceso de la memoria de trabajo en el segundo nivel consiste en recordar una figura que ha visto dos estímulos antes que la que ve después, lo cual implica recordar no sólo la figura anterior, sino también dos figuras previas, compararlas entre ellas y decidir si debe generar una respuesta. Según diferentes autores la memoria de trabajo está presente desde los seis años de edad (Diamond, 2006; Anderson, 2002; Gathercole, 2004), sin embargo hay diferencias en cuanto a la edad en que se encuentra completamente desarrollada. Se puede aproximar un período de edad entre los 14 y los 17 años (Anderson, 2002; Diamond, 2013).

Los resultados obtenidos indican que si bien el grupo con CIA tuvo un mejor desempeño en la tarea 2-back y cometió menos errores, su desempeño real es menor al desempeño de un adulto, por lo que ambos grupos están en proceso de desarrollo. En el caso de las tareas 3-back no se encontraron diferencias por la complejidad de la tarea en sí misma. La tarea requiere recordar un estímulo que se ha visto tres estímulos antes, con dos interferencias. Los participantes refirieron que se confundían y olvidaban la figura que

habían visto anteriormente. El paradigma visual 3-back requiere tanto del mantenimiento como de la actualización de la memoria de trabajo y en general se observa un mayor número de errores al seleccionar el estímulo repetido (Kane, Conway & Miura 2007).

La planeación es una de las funciones ejecutivas de más alto nivel, seis de los modelos para adultos la incluyen y la consideran fundamental dentro de las funciones ejecutivas (Denckla, 1996; Hayes et al., 1996; Lezak, 1982; Sohlber & Mateer, 2001; Stuss & Benson, 1986). Estos modelos consideran la planeación en adultos y no durante el desarrollo. El modelo de Diamond (2013) contempla la planeación como una función de alto nivel que está presente desde la pre-adolescencia que ocurre alrededor de los 12 años y que se va desarrollando hasta la vida adulta. Los resultados obtenidos en el estudio muestran que ambos grupos están en proceso de desarrollo en comparación con la ejecución de los adultos.

Al igual que lo que ocurre con la inhibición y la memoria de trabajo, en la planeación se observó que los adolescentes con CIA toman más tiempo para planear, utilizan menos movimientos para resolver la tarea y tienen un mayor porcentaje de soluciones perfectas que los adolescentes con CIM.

Los resultados obtenidos en la investigación indican que los adolescentes con CIA presentan un funcionamiento ejecutivo más eficiente en 7 de los 9 indicadores conductuales que se midieron. Tienen una mejor inhibición, mayor volumen de memoria de trabajo y una planeación más eficiente. Sin embargo ambos grupos tienen un desempeño menor al que puede observarse en los adultos, lo cual se explica porque ambos grupos se encuentran en proceso de desarrollo. Según diferentes investigaciones la inhibición alcanza su pleno desarrollo después de los 15 años (Anderson et al., 2001; Luna et al., 2004), la memoria de

trabajo alrededor de los 17 (Luna et al., 2004) y la planeación hasta la edad adulta (Huizinga, Dolan & Van der Molen, 2006).

Los resultados del análisis electrofisiológico de la tarea 1-back son consistentes con lo que se encontró en el análisis conductual. Esto indica que la memoria inmediata, que no es una función ejecutiva, no está relacionada con la inteligencia. En el estudio se observó que hubo diferencias cuando el participante reconoció el estímulo y cuando decidió que no era el estímulo visto inmediatamente antes.

Las diferencias encontradas entre los grupos en la tarea 2-back indican que la memoria de trabajo funciona diferente en los adolescentes con CIA. Como consecuencia los adolescentes de este grupo tienen una respuesta más rápida debido a que reconocen antes el estímulo que se les presenta.

El estudio comprueba la hipótesis de que los adolescentes con CIA tienen un funcionamiento ejecutivo más eficiente que los adolescentes con CIM, por lo menos en las funciones ejecutivas más básicas como la inhibición simple y la memoria de trabajo visoespacial, así como la planeación.

Es claro que existen diferencias entre los grupos, como lo muestran los indicadores conductuales y electrofisiológicos, sin embargo es necesario considerar aspectos del desarrollo, ya que ambos grupos presentan una ejecución por debajo de lo que alcanzarán cuando estas funciones se encuentren completamente desarrolladas. Los adolescentes con CIA tienen un mejor funcionamiento en las tres tareas evaluadas pero todavía no alcanzan su desarrollo pleno. Se tendría que ver si al llegar a la edad adulta los grupos tienen desempeños equivalentes o si la distancia se mantuvo. Esto es materia de otra investigación en la que se pudieran comparar grupos de adultos sanos para corroborar si la tendencia se mantiene.

Por otra parte es necesario preguntarse si la capacidad intelectual hace que las funciones ejecutivas sean más eficientes o por el contrario, si un buen funcionamiento ejecutivo propicia una mayor inteligencia. Existen diferentes teorías específicamente de la inteligencia en las que toman las funciones ejecutivas como una característica por ejemplo de los niños superdotados sin considerar a qué se debe por ejemplo que tengan una mayor capacidad de planeación (Sastre-Riba, Viana-Sáenz, 2016). El estudio realizado muestra que por lo menos las tres funciones ejecutivas evaluadas están relacionadas con la inteligencia porque el grupo con CIA muestra un mejor desempeño pero no se muestra la naturaleza de esa relación.

Si se considera que las funciones ejecutivas influyen en la capacidad intelectual, la relación entre ambos constructos podría significar que la estimulación cognitiva de las funciones ejecutivas con programas de intervención neuropsicológica podría contribuir para mejorar la capacidad intelectual que permita un mayor desempeño académico. La plasticidad cerebral que nos permite aprender nuevos conocimientos y adquirir experiencias para resolver problemas de distinta naturaleza permite también mejorar las funciones ejecutivas.

Con esta hipótesis se puede suponer que al mejorar el funcionamiento ejecutivo de quienes tienen problemas de aprendizaje, podría mejorar su rendimiento en pruebas de inteligencia. Esto también es materia de una nueva investigación a largo plazo, donde se entrenen las funciones ejecutivas para comparar el desempeño en pruebas de inteligencia de los participantes. Por el momento se puede afirmar que las funciones ejecutivas juegan un papel importante en la inteligencia humana y este conocimiento puede contribuir a explicar sus diferencias.

REFERENCIAS

- Alloway, T. Gathercole, S. & Pickering, S. (2006). Verbal and visuospatial short-term and working memory in children: Are they separable? *Child development*, 1698-1716.
- Anderson, J. (2002). Assessment and development of executive function during childhood. *Child neuropsychology*, 2, 71-82.
- Anderson, P. (2000). *Cognitive psychology and its implications* (5a ed.). New York: Worth Publishers.
- Anderson, V., Anderson, P., Northam, P., Jacobs, R. & Catropa, C. (2001). Assessing executive functions in children: biological, psychological and developmental considerations. *Pediatric rehabilitation*, 4 (3), 119-136.
- Anderson, V., Jacobs, R. & Anderson, P. . (2008). *Executive functions and the frontal lobes: A life span perspective*. New York: Taylor & Francis.
- Andreasen, N., Flaum, M., Swayze, V., O'Leary, D., Alliger, R. Cohen, G., Ehrhardt, J. & Yuh, W. (1993). Intelligence and brain structure in normal individuals. *American journal of psychiatry*, 150, 130-134.
- Ardila, A. (1982). *Psicofisiología de los procesos complejos*. México: Trillas.
- Arffa, S. (2007). The relationship of intelligence to executive functions and non-executive function measures in a sample of average, above average and gifted youth. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 22, 969-979.
- Baddeley. (1986). Spatial Working Memory. *Attention and performance*. Vol. 8, 521-539.
- Baddeley, A. & Hitch, G. (1974). *Working Memory*.
- Baddeley, A. (1992). Is working memory working? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 5-28.
- Baddeley, A. (2002). Is working memory still working? *European psychologist* 7, 85-97.
- Baddeley, A. L. (1984). Exploring the articulatory loop. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 233-252.
- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. Vol. 49, 5-28.

- Badgaiyan, R. & Posner, M. (1997). Time course activations in implicit and explicit recall. *Journal of Neuroscience*, *17*, 4904-4913.
- Balan, P., Kushnerenko, E., Huotilainen, M., Näätänen, R., & Hukki, J. (2002). Auditory ERPs reveal brain dysfunction in infants with plagiocephaly. *Journal of craniofacial surgery*, *13*, 520-525.
- Barea, R. (2014). Electroencefalografía. En U. d. Alcalá, *Instrumentación Biomédica. Cap. 5* (págs. 1-26). Alcalá: Universidad de Alcalá.
- Barkley, R. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, *121*, 65-94.
- Barkley, R. (2001). The executive functions and self-regulation: An evolutionary neuropsychological perspective. *Neuropsychology review*, *11(1)*, 1-29.
- Barkley, R., Edwards, G., Laneri, F., Fletcher, K. & Metevia, L. (2001). Executive functioning, temporal discounting, and sense of time in adolescents with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) and oppositional defiant disorder (ODD). *Journal of abnormal child psychology*, *29*, 541-556.
- Barriga, C. (2015). *Maduración de la memoria de trabajo en niños, adolescentes y jóvenes adultos mediante potenciales relacionados a eventos*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Bedard, A., Nichols, S., Barbosa, J., Schachar, R. Logan, G. & Tannock R. (2002). The development of selective inhibitory control across the life span. *Development Neuropsychology*, 93-111.
- Best, J. & Miller, P. (2010). A developmental perspective on executive function. *Child development*, *81(6)*, 1641-1660.
- Best, J., Miller, P. & Jones, L. (2009). Executive function after age 5: Changes and correlates. *Developmental Review*, *29*, 180-200.
- Best, J., Miller, P. & Naglien, J. . (2001). Relations between executive function and academic achievement from ages 5 to 17 in a large, representative national sample. *Learning and individual differences*, *21*, 327-336.
- Beteleva, T., Sinitsyn, S. & Farber, D. (2009). Age-Related Specificity of the Processing of Visual Information in the Sistem of Working Memory. *Human physiology*, 672-683.

- Beteleva, T., Sinitsyn, S. & Farber, D. (2009). Event Related Potentials at different stages of the operation of visual working memory. *Human Physiology*, 34, 672-683.
- Brocki, K. & Bohlin, G. (2004). Executive functions in children aged 6 to 13: A dimensional and developmental study. *Developmental neuropsychology*, 26, 571-593.
- Bruin, K., Wijers, A. & Van Staveren, A. (2001). Response priming in a Go/NoGo task: do we have to explain the Go/NoGo N2 effect in terms of response activation instead of inhibition? *Clinical neuropsychology*, 112, 1660-1671.
- Burgess, P. (1997). Theory and methodology in executive function research. En P. (. Rabbit, *Methodology of Frontal and Executive Function* (págs. 81-116). Hove, U.K.: Psychology Press.
- Burgess, P. (2000). Strategy application disorder: The role of the frontal lobes in human multitasking. *Psychological Research*, 63, 279-288.
- Butterfield, E., & Albertson, L. (1995). On making cognitive theory more general and developmentally pertinent. En F. & Weinert, *Research on memory development* (págs. 73-99). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Carretié, L. (2001). *Psicofisiología*. Madrid: Pirámide.
- Casey, B., Giedd, J. & Thomas, K. . (2000). Structural and functional brain development and its relation to cognitive development. *Biological Psychology*, 54, 241-257.
- Cattell, R. (1963). Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment. *Journal of educational psychology*, 54, 1-22.
- Cattell, R. (1971). *Abilities: The structure and function*. Boston: Houghton Mifflin.
- Cattell, R. (1987). *Intelligence: Its structure growth and action*. Amsterdam: North Holland.
- Cepeda, N., Kramer, A. & González de Sather, J. (2001). Changes in executive control across the life span: examination of task-switching performance. *Developmental psychology*, 37 (5), 715-730.
- Chalke, F. & Ertl, J. (1965). Evoked potentials and intelligence. *Life sciences* 4, 1319-1322.
- Cohen, R. (1993). *The Neuropsychology of attention*. U.S.A.: Plenum Press.

- Cole, M., Yarkoni, T., Repovs, G., Anticevic, A. & Braver, T. (2012). Global connectivity of prefrontal cortex predicts cognitive control and intelligence. *The journal of neuroscience*, 32, 8988-8999.
- Collins, A. & Koechlin, E. (2012). Reasoning, learning and creativity: frontal lobe function and human decision making. *PLoS Biol*, 354-373.
- Culbertson, W. & Zilmer, E. (1998). The Tower of London (Dx) a standardized approach to assessing executive functioning in children. *Archives of clinical neuropsychology: The official journal of the National Academy of Neuropsychologists*. 13(3), 285-301.
- Damasio, A. (1994). *Descartes's error: Emotion, reason and the human brain*. New York: Avon Books.
- Damasio, A. (1998). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. En A. R. Roberts, *The prefrontal cortex, executive and cognitive functions* (págs. 36-50). New York: University Press.
- Davidson, M., Amso, D., Anderson, L. & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4-13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition and task switching. *Neuropsychologia*, 44, 2037-2078.
- Dawson, P. & Guare, R. (2004). *Executive skills in children and adolescents*. London: Guilford Press.
- De Jong, R., Coles, M. & Logan. (1995). Strategies and mechanisms in non selective and selective inhibitory motor control. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance* 16, 164-182.
- Delis, D., Squire, L. Bihrlé, A. & Massman, P. (1992). Componential problem solving ability. *Neuropsychology*, 10, 683-687.
- Dempster, F. (1991). Inhibitory processes: A neglected dimension of intelligence. *Intelligence*, 15, 157-173.
- Dempster, F. (1993). Resistance to interference: Developmental changes in a basic processing mechanism. En L. & Howe, *Emerging themes in cognitive development* (págs. 3-27). New York: Springer-Verlag.
- Denckla, M. (1996). A theory and model of executive function: a neuropsychological perspective. En G. Lyon, & N. Krasnegor, *Attention, memory and executive function* (págs. 263-277). Baltimore: Paul H. Brooks.

- Desimone, R. (1996). Neural mechanisms for visual memory and their role in attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93, 13494-13499.
- Diamond, A. & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4-12 years old. *Science*, 333, 959-964.
- Diamond, A. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: cognitive functions, anatomy and biochemistry. En D. Stuss, & R. Knight, *Principles of frontal lobe function* (págs. 466-503). New York: Oxford University Press.
- Diamond, A. (2006). The early development of executive functions. En E. & Bialystok, *Lifespan cognition: Mechanisms of change* (págs. 70-95). New York: Oxford university press.
- Diamond, A. (2013). Executive function. *Annual review of psychology*, 135-168.
- Diamond, A. (2014). Executive functions: Insights into ways to help more children thrive. *zero to three journal*, 35 (2), 9-17.
- Dolu, N., Basar-Eroglu, C., Özesmi, C. & Süer, C. (2005). An assessment of working memory using P300 wave in healthy subjects. *International Congress Series*, 7-10.
- Donchin, E. & Coles, M. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral and brain sciences*, 357-374.
- Duan, X. & Shi, J. (2014). Attentional switching in intellectually gifted and average children: effects on performance and ERP. *Psychological reports*, 114 (2), 597-607.
- Duncan, J. (2001). An adaptive coding model of neural function in prefrontal cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 2, 820-829.
- Duncan, J. Emslie, H., Williams, P., Johnson, R. & Freer, C. (1996). Intelligence and the frontal lobe: The organization of goal-directed behavior. *Cognitive psychology*, 30, 257-303.
- Duncan, J., Burgess, P. & Emslie, H. (1995). Fluid intelligence after frontal lobe lesions. *Neuropsychologia*, 33, 261-268.
- Elliot, R. (2003). Executive functions and their disorders. *British Medical Bulletin*, 65, 49-59.

- Emerson, E. & Stancliffe, R. (2010). The mental health of young children with intellectual disabilities or borderline intellectual functioning. *Psychiatry Epidemiology*, 45, 579-587.
- Espy, K. & Bull, R. (2005). Inhibitory processes in young children and individual variation in short-term memory. *Developmental Neuropsychology*, 28(2), 669-688.
- Fabiani, M., Gratton, G. & Federmeier, K. (2000). Event-related brain potentials. Methods, theory and applications. En L. Cacioppo, T. Tassinari, & J. Benson, *Handbook of Psychophysiology* (págs. 85-119). U.K.: Cambridge Press.
- Farah, M., Hammond, K., Levine, D. & Calvarino, R. (1988). Visual and spatial mental imagery: dissociable system of representation. *Cognitive Psychology*, 20, 439-462.
- Farber, D., Beteleva, T. & Ignateva, I. (2004). Functional Organization of the Brain during the operation of working memory. *Human Physiology*, 30, 1-13.
- Ferrer, E., Shaywitz, B., Holahan, J., Marchione, K. & Shaywitz, S. . (2009). Uncoupling for reading and IQ over time: empirical evidence for definition of dyslexia. *Psychology science*, 21, 93-101.
- Feuchtwanger, E. (1923). Die funktionen des strirnhirns. En F. & Wilmanns, *Monographien aus dem Gesamtgebiete des neurologie und psychiatrie* (pág. Vol. 38). Berlin: Springer.
- Fischler, I., Bloom, P., Childers, D., Roucos, S. & Perry, N. (1983). Brain potentials related to stages of sentence verification. *Psychophysiology*, 20, 400-409.
- Fleminger, S. (2008). Long-term psychiatric disorders after traumatic brain injury. *European journal of anaesthesiology*, 25 (s2), 123-130.
- Flores, J. (2006). *Neuropsicología de los lóbulos frontales*. Villahermosa: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Friedman, D., Cycowicz, Y. & Gaeta, H. (2001). The novelty P3: an event-related brain potential ERP sign of the brain's evaluation of novelty. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 25, 355-373.
- Friedman, N., Miyake, A., Corley, R., Young, S., Defries, J. & Hewitt, J. (2006). Not all executive functions are related to intelligence. *Psychological Science*, 172-179.

- Friedman, N., Miyake, A., Young, S., DeFries, J., Corley, R. & Hewitt, J. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of experimental psychology general*, 137, 201-225.
- Fuster, J. (1989). *The prefrontal cortex*. New York: Raven Press.
- Fuster, J. (2008). *The prefrontal cortex* (4 ed.). Los Angeles, California, USA: ELSEVIER.
- Fuster, J. (2008). *The prefrontal cortex. 4a edicion* (4 ed.). Los Angeles, California, USA: ELSEVIER.
- Gagné, F. (1985). Giftedness and Talent: Reexamining a reexamination of definitions. *Gifted child quaterly*, 29, 103-112.
- Galvis, G., Galvis, R. & De la Rosa, O. (1960). Estandarización de las matrices progresivas de Raven en el Distrito Federal. *Anales del Instituto Nacional de Antropología e Historia*, 243-257.
- Garavan, H. Ross, T., Murphy, K., Roche, R. & Stein, E. (2002). Sissociable executive functions in the dynamic control of behavior: inhibition, error detection and correction. *Neuroimage*, 17 (4), 1820-1829.
- García-Pérez, E. (2009). *Cervantes, Batería de inteligencia*. Madrid: ALBOR-COHS.
- Garon, N., Bryson, S. & Smith, I. (2008). Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework. *Psychological bulletin*, 134, 31-60.
- Gathercole, S. P. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40, 177-190.
- Geake. (2007). *The Neurobiology of Giftedness*. United Kingdom: Oxford Bookes University.
- Geake. (2009). Neuropsychological characteristics of Academic and Creative Giftedness. En L. Savinina, *International Handbook of Giftedness* (págs. 261-273). Quebec: Université Du Québec en Outaouais.
- Geake, J. & Dodson, C. (2005). A neuro-psychological model of the creative of the creative intelligence of gifted children. *Gifted & Talented International*, 20, 4-16.
- Goia, G., Isquith, P. & Guy, S. (2001). Assessment of executive function in children with neurological impairment. En R. & Simeonsson, *Psychological and developmental assessment: Children with disabilities and chronic conditions* (págs. 317-356). New York: Guilford Press.

- Goldman-Rakic, P. (1987). Development of cortical circuitry and cognitive function. *Child development*, 58, 601-622.
- Goldman-Rakic, P., Cools, A. & Srivastava, K. (1996). The prefrontal landscape: Implications of functional architecture for understanding human mentation and de central executive. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 351, 1445-1453.
- Goldstein, K. (1944). The mental changes due to frontal lobe damage. *Journal of Psychology*, 17, 187-208.
- Grabner, R., Neubauer, E. & Stern, E. (1992). Superior performance and neural efficiency: the impact of intelligence and expertise. *Brain research bulletin*, 69, 415-426.
- Gray, J., Chabris, D. & Braver, T. (2003). Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nature neuroscience*, 6, 316-322.
- Guilford, J. (1967). *The nature of human intelligence*. New York: McGraw Hill.
- Guilford, J. (1977). *Way beyond the IQ: Guide to improving intelligence and creativity*. New York: McGraw Hill.
- Guilford, J. (1985). The structure of intellect model. En B. Wolman, *Handbook of intelligence: Theories, measurements and applications* (págs. 225-266). New York: Wiley.
- Hayes, S., Gifford, V. & Ruckstuhl, Jr. (1996). Relational frame theory and executive function: A behavioral approach. En G. Lyon, & N. Krasnegor, *Attention, memory and executive function* (págs. 279-305). Baltimore: Paul Brookes Publishing Co.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. y Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación*. (4a ed.). México: McGraw Hill.
- Hillyard, S., Hink, R., Schwent, V. & Picton, T. (1973). Electrical signs of selective attention in the human brain. *Science*, 182, 177-180.
- Huizinga, M., Dolan, C. & Van der Molen, M. (2006). Age related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44, 2017-2036.
- Isquith, P., Goia, G. & Espy, K. (2004). Executive function in preschool children: Examination through everyday behavior. *Development neuropsychology*, 26, 403-422.

- Ivanovic, R., Forno, H., Duran, C., Castro, C. & Ivanovic, D. (2000). Estudio de la capacidad intelectual (Test de Matrices Progresivas de Raven) en escolares chilenos de 5 a 18 años. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 53 (1), 5-30.
- Jasper, H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
- Jennings, J. & Wood, C. (1976). The E-adjustment procedure for repeated measures analyses of variance. *Psychophysiology*, 30, 277-278.
- Jonkman, L., Lansbergen, M. & Stauder, J. (2003). Developmental differences in behavioral and event-related brain responses associated with response preparation and inhibition in a go/no go task. *Psychophysiology*, 40, 752-761.
- Kane, M. & Engle, R. (2002). The role of prefrontal cortex in working memory capacity, executive attention and general fluid intelligence: an individual differences perspective. *Psychology bulletin review*, 637-671.
- Kane, M. & Hambrick, D. (2005). Working memory capacity and fluid intelligence are strongly related constructs: Comment on Ackerman, Beier, and Boyle. *Psychological bulletin*, 131, 66-71.
- Kane, M., Conway, A. & Miura, T. (2007). Working memory, attention control, and the N-Back task: A question of construct validity. *Journal of experimental psychology*, 33, 615-622.
- Kelly, M., Best, C. & Kirk, U. (1989). Cognitive processing deficits in reading disabilities: A prefrontal cortical hypothesis. *Brain and Cognition*, 11, p.p. 275-293.
- Kenemans, J., Liffijt, M., Camfferman, G. & Verbaten, M. . (2002). Split-second sequential selective activation in human secondary visual cortex. *Journal of cognitive neuroscience*, 14, 48-61.
- Kieffaber, P. & Hetrick, W. (2005). Event-related potential correlates of task switching and switch costs. *Psychophysiology*, 42 (1), 56-71.
- Klenberg, L., Korkman, M. & Lathi-Nuutila, P. (2001). Differential development of attention and executive function in 3 to 12 years old finnish children. *Developmental neuropsychology*, 20 (1), 407-428.

- Kretschmann, H., Kammradat, G., Krauthausen, I., Sauer, B. & Wigert, F. (1986). Brain growth in man. En H. Kretschmann, *Brain growth* (págs. 1-26). Hanover: Biblthea anat.
- Kutas, M. & Hillyard, S. (1980). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 203-204.
- Lehto, J., Juujärvi, P., Kooistra, L. & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British journal of developmental psychology*, 21, 59-80.
- Lezak, M. (1982). The problem of assessing executive functions. *International Journal of Psychology*, 17, 281-297.
- Lezak, M. (1995). *Neuropsychological Assessment* (3a ed.). Oxford: Oxford University Press.
- Lezak, M., Howieson, D. & Loring. (2004). *Neuropsychological Assessment, 4a Ed.* Oxford: Oxford University Press.
- Logan, G. & Cowan, W. (1984). On the ability to inhibit thought and action: A theory of an act of control. *Psychological review*, 91, 295-327.
- Logan, G. (1994). On the ability to inhibit thought and action: A user's guide to the stop signal paradigm. En D. Dagenbach, & T. Carr, *Inhibitory processes in attention, memory and language* (págs. 189-239). San Diego: California Academic Press.
- Luna, B., Garver, K., Urban, T., Lazar, N. & Sweeney, J. (2004). Maturation of cognitive processes from late childhood to adulthood. *Child development*, 1357-1372.
- Luna, B., Thulborn, K., Muñoz, D., Merriam, E. Garver, K., Minshew, N. & Sweeney, J. (2001). Maturation of widely distributed brain function subserves cognitive development. *Neuroimage*, 13 (5), 786-793.
- Luria, A. (1966). *Human Brain and psychological processes*. New York: Harper & Row.
- Luria, A. (1969). Frontal lobe syndromes. En V. & Bruyn, *Handbook of clinical neurology* Vol. 2 (págs. 725-757). Amsterdam: North Holland.
- Luria, A. (1973). *El cerebro en acción*. Barcelona: Martínez Roca.
- Luria, A. (1986). *Las funciones corticales superiores del hombre*. México: Distribuciones Fontamara.
- Luria, A. (1986). *Lenguaje y Pensamiento*. Barcelona: Martínez Roca.

- Lyon, G. & Krasnegor, N. (1996). *Attention, memory and executive function*. Baltimore: Brookes.
- Magnum, G. & Hillyard, S. (1988). Spatial gradients of visual attention: behavioral and electrophysiological evidence. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 70, 417-428.
- Mangun, G. & Hillyard, S. (1988). Spatial gradients of visual attention: behavioral and electrophysiological evidence. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 70, 417-428.
- Mangun, R. & Hillyard, S. (1991). Modulation of sensory-evoked brain potentials indicate changes in perceptual processing during visual-spatial priming. *Journal of experimental psychology*, 17, 1057-1074.
- Marland, S. (1972). *Education of the Gifted and Talented. Report to the Subcommittee on Education. Committee on Labor and Public*. Washington, D.C.: Government Printing Office.
- Mecklinger, A. & Pfeifer, E. (1996). Event-related potentials reveal topographical and temporal distinct neuronal activation patterns for spatial and object working memory. *Cognitive Brain Research*, 4, 211-224.
- Miller, E. & Cohen, J. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 67-202.
- Miller, G., Galanter, E. & Pribram, K. (1960). *Plans and the structure of behavior*. New York: Rinehart & Winston.
- Mischel, W., Shoda, Y. & Rodríguez, M. (1989). Delay of gratification in children. *Science*, 244, 933-938.
- Miyake, A. (2009). Individual differences in executive function: Basic findings and implications for self-regulation research. *Individual differences in executive function: Basic findings and implications for self-regulation research* (pág. s/n). San Francisco: Association for Psychological Science.
- Miyake, A. (2012). The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Psychological Science*, 21, 8-14.

- Miyake, A. Friedman, N., Emerson, M., Witzki, A., Howerter, A. & Wager, T. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, *41*, 49-100.
- Münte, T., Urbach, P., Düzel, E. & Kutas, M. (2000). Event-related brain potentials in the study of human cognition and neuropsychology. En F. G. Boller, *Handbook of Neuropsychology*, *2nd ed. Vol. 1, Cap. 7* (págs. 1-17). Washington: George Washington University Medical School.
- Näätänen, R., Gaillard, A. & Mäntysalo, S. (1978). Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica*, *42*, 313-329.
- Nieuwenhuis, S., Van den Wildenberg, W. & Ridderinkhof, K. (2003). Electrophysiological correlates of anterior cingulate function in a Go/No Go task: Effects of response conflict and trial-type frequency. *Cognitive, affective & behavioral neuroscience*, *3*, 17-26.
- Norman, D. & Shallice, T. (1986). Attention to action. Willed and automatic control of behavior. En G. S. R.J. Davidson, *Consciousness and Self-regulation*, *Vol. 4* (págs. 1-19). New York: Plenum Press.
- Ocampo, A. & Téllez, B. (2015). Planeación mental y memoria de trabajo durante la resolución de la torre de Londres. En B. Téllez, *Investigaciones en neuropsicología y psicología educativa* (págs. 41-70). Cuernavaca: UAEM Bonilla Artigas.
- Ongur, D. & Price, J. (2000). The organization of networks within the orbital and medial prefrontal cortex of rats, monkeys and humans. *Cerebral cortex*, *10*, 206-219.
- Ongur, D., Ferry, A. & Price, J. (2003). Architectonic subdivision of the human orbital and medial prefrontal cortex. *The journal of Comparative Neurology*, *460*, 425-449.
- Owen, A. (1997). Cognitive planning in humans: Neuropsychological, neuroanatomical and neuropharmacological perspectives. *Progress in Neurobiology*, *53* (4), 431-450.
- Owen, A., McMillan, K., Laird, A. & Bullmore, E. (2005). N-Back working memory paradigm: Meta-Analysis of Normative functional neuroimaging studies. *Human Brain mapping*, *25*, 46-59.
- Parsons, L. & Osherson, D. (2001). New evidence for distinct right and left brain system for deductive versus probabilistic reasoning. *Cerebral cortex* *11*, 954-965.

- Passingham, R. (1995). *The frontal lobes and voluntary action*. U.S.A.: Oxford University Press.
- Patel, S. & Azam, P. (2005). Characterization of N200 and P300. Selected studies of the event-related potential. *International journal of medical sciences*, 2 (4), 147-154.
- Piaget, J. (1963). *The origins of intelligence in children*. New York: Norton.
- Picton, T. & Hilliard, S. (1988). Endogenous event-related potentials. En T. Picton, *Human event related potentials* (págs. 361-426). New York: Elsevier.
- Picton, T. (1988). Human Event-Related potentials. En T. Picton, *Handbook of electroencephalography and clinical neurophysiology, Cap. 1. Vol. 3* (págs. 3-73). New York: Elsevier.
- Rabbitt, P. (1997). *Methodology of frontal and executive function*. Hove, UK: Psychology press.
- Ramírez, S. & Hernández, J. (2010). Potenciales evocados relacionados con eventos cognoscitivos. *Guía Neurológica* 7, 189-195.
- Raven, J. & Walshaw, J. (1944). Vocabulary tests. *British journal of Medical Psychology*, 185-194.
- Raven, J. (1938). Standarization of progressive matrices. *Psychology and psychoterapy: Theory, research and practice*, 137-150.
- Reiss, A., Abrams, M., Singer, H., Ross, J. & Denckla, M. (1996). Brain development, gender and IQ in children: A volumetric imaging study. *Brain*, 119, 1763-1774.
- Renzulli, J. (1978). What makes giftedness? Re-examing a definition. *Phi Delta Kappan*, 60, 180-184.
- Rolls, E. (2000). The orbitofrontal cortex and reward. *Cerebral Cortex*, 10, 284-294.
- Rosso, I., Young, A., Femia, L. & Yurgelun-Todd, D. (2004). Cognitive and emotional components of frontal lobe functioning in childhood and adolescence. *Annals of the new academy of science*, 1021, 355-362.
- Ruchkin, D., Johnson, R., Grafman, J., Canoune, H. & Ritter, W. . (1997). Multiple visuospatial working memory buffers: Evidence from spatiotemporal patterns of brain activity. *Neuropsychologia*, 195-209.

- Ruchkin, D., Johnson, R., Grafman, J., Canoune, H. & Ritter, W. (1992). Distinctions and similarities among working memory processes: An event-related potential study. *Cognitive brain research*, 1 (1), 53-66.
- Rushby, J., Barry, R. & Doherty, R. (2005). *Separation of the components of the late positive complex in an ERP dishabituation paradigm*. *Clinical Neurophysiology*, 116: 2363-2380.
- Salthouse, T., Fristoe, N., McGuthry, K. & Hambrick, D. (2003). Relation of task switching to speed, age, and fluid intelligence. *Psychology and aging*, 13, 445-461.
- Sánchez, C. (2008). *Configuración cognitivo emocional en alumnos de altas habilidades. Cap. I*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Sastre-Riba, S. (2008). Niños con altas capacidades y su funcionamiento cognitivo diferencial. *Revista de Neurología*, 46, S11-S16.
- Sastre-Riba, S. (2012). Alta capacidad intelectual: perfeccionismo y regulación metacognitiva. *Revista de neurología*, 54 (S1), 21-29.
- Sastre-Riba, S., Viana-Sáenz, L. (2016). Funciones ejecutivas y alta capacidad intelectual. *Revista de Neurología*, 62, 565-571.
- Selagowitz, S., Santesso, D. & Jetha, M. (2010). Electrophysiological changes during adolescence: A review. *Brain and Cognition*, 86-100.
- Senn, T., Espy, K. & Kaufmann, P. (2004). Using path analysis to understand executive function organization in children. *Developmental neuropsychology*, 26, 445-465.
- SEP. (1991). *Paquete didáctico para el proyecto de atención a niños con capacidades y aptitudes sobresalientes en el nivel primaria*. México: Secretaría de Educación Pública.
- SEP. (2006). *Propuesta de intervención: Atención educativa a alumnos y alumnas con aptitudes sobresalientes*. México: Secretaría de Educación Pública.
- SEP. (10 de Agosto de 2013). *Secretaría de Educación Pública*. Obtenido de SEP: www.sep.gob.mx
- Shallice, T. & Burgess, P. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain*, 114, 727-741.
- Shallice, T. (1982). *Specific impairments of planning*. London: Real Society of London.

- Shallice, T. (1990). *From neuropsychology to mental structure*. New York: Oxford University Press.
- Shallice, T. (2001). The theory of mind. *Oxford Journals*, 124-2, 247-248.
- Shedden, J. & Norgaard, C. (2001). ERP time course of perceptual and post-perceptual mechanisms of spatial selection. *Cognitive Brain Research*, 11, 59-75.
- Smith, E. & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science*, 283, 1657-1661.
- Smith, J., Johnstone, S. & Barry, R. (2004). Inhibitory processing during the Go/NoGo task: an ERP analysis of children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Clinical Neurophysiology*, 115, 1320-1331.
- Sohlberg, M. & Mateer, C. (2001). *Cognitive Rehabilitation: An integrative neuropsychological approach*. New York: The Guilford Press.
- Stembler, S. Grigorenko, E., Jarvin, L. & Sternberg, R. (2006). Using the theory of successful intelligence as a basis for augmenting AP exams in psychology and statistics. *Educational psychology*, 31 (2), 344-376.
- Sternberg, R. & Davidson, J. (1995). *The nature of insight*. Cambridge: MIT Press.
- Sternberg, R. (1985). *Beyond IQ. A triarchic Theory of Human Intelligence*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sternberg, R. (1987). *Inteligencia Humana I*. Barcelona: España.
- Sternberg, R. (1988). *The triarchic mind: A new theory of human intelligence*. New York: Cambridge University Press.
- Sternberg, R. (1996). *Successful intelligence*. New York: Cambridge University Press.
- Sternberg, R. (1997). The triarchic theory of intelligence. En D. G. Flanagan, *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests and issues* (págs. 92-104). New York: Guilford Press.
- Sternberg, R. (2005). *Conceptions of giftedness*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Stuss, D. & Alexander, M. (2000). Executive functions and the frontal lobes: A conceptual view. *Psychological Research*, 68, 289-298.
- Stuss, D. & Benson, D. (1986). *The frontal lobes*. New York: Raven Press.
- Stuss, D. & Levine, B. (2000). Adult clinical neuropsychology, lessons from studies of the frontal lobes. *Annual Review of Psychology*, 53, p.p. 401-403.

- Stuss, D. (1992). Biological and psychological development of executive functions. *Brain and cognition*, 20, 8-23.
- Stuss, D., Binns, M., Murphy, K. & Alexander, M. (2002). Dissociations within the anterior attentional system: Effects of task complexity and irrelevant information on reaction time speed and accuracy. *Neuropsychologia*, 16, 500-513.
- Sutton, S. B. (1965). Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150, 1187-1188.
- Tannenbaum, A. (1986). Giftedness: A psychosocial approach. En J. Sternbert, & J. Davidson, *Conceptions of Giftedness* (págs. 21-52). Cambridge: Cambridge University Press.
- Tatcher, R. (1991). Maturation of the human frontal lobes: Psychological evidence for staging. *Developmental Neuropsychology*, 397-419.
- Tatcher, R. (1992). Cyclical cortical reorganization during early childhood. *Brain and cognition*, 25-50.
- Taylor, M. & Pang, E. (1999). Developmental changes in early cognitive processes. *Functional Neuroscience: Evoked potentials and magnetic fields*, S49, 145-153.
- Téllez, B. (2014). *Potenciales relacionados a eventos y funciones ejecutivas en niños y adolescentes*. México: En prensa.
- Tongran, L., Jiannong, S., Daheng, Z. & Jie, Y. (2008). The event-related low-frequency activity of highly and average intelligent children. *High Ability Studies*, 19,2, 131-139.
- Tsvetkova, L. (1999). *Neuropsicología del intelecto*. Cuernavaca: UAEM.
- Walsh, K. (1978). *Neuropsychology: A clinical approach*. New York: Churchill Livingstone.
- Walter, W., Cooper, R., Aldridge, V., McCallum, W. & Winter, A. (1964). Contingent Negative Variation: An electric sign of sensori-motor association an expectancy in the human brain. *Nature*, 380-384.
- Wang, X. (2005). Discovering spatial working memory fields in prefrontal cortex. *Journal of Neurophysiology*, 93, 3027-3028.
- Wechsler, D. (1939). *Manual of the Wechsler Adult Intelligence Scale*. Oxford: Psychological corp.

- Welsh, M., Pennington, B. & Groisser, D. (1991). A normative developmental study of executive functions: A window of prefrontal function in children. *Developmental neuropsychology*, 199 (1), 231-242.
- Williams, B., Ponesse, J. & Schachar, R. (1999). Development of inhibitory control across the life span. *Developmental Psychology*, 205-213.
- Williams, B., Ponesse, J., Schachar, R., Logan, G. & Tannock, R. (1999). Development of inhibitory control across the life span. *Development psychology*, 30, 205-213.
- Wood, C. & Alison, T. (1981). Interpretated of evoked potentials: A neuropsychological perspective. *Canadian Journal of Psychology*, 35 (2), 113-135.
- Xiaoju, D., Jiannong, S., Jianhui, W., Yi, M., Hairong, C. & Guiqing, W. (2009). Electrophysiological correlates for response inhibition in intellectually gifted children: A Go/NoGo study. *Neuroscience letters*, 457, 45-48.
- Zhang, B., Zhao, L. & Xu, J. (2007). Electrophysiological activity underlying inhibitory control processes in late-life depression: a Go/NoGo study. *Neuroscience letters*, 419, 225-230.
- Zhang, Q., Shi, J., Luo, Y., Zhao, D. & Yang, J. (2006). Intelligence and information processing during a visual search task in children: an event-related potential study. *Neuroreport*, 17, 747-752.
- Ziles, K. (1990). Cortex. En G. Paxinos, *The human nervous system*. New York: Academic Press.