



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN  
PSICOLOGÍA

RESIDENCIA EN NEUROPSICOLOGÍA CLÍNICA

## “CORRELATO DEL ESPECTRO DE POTENCIA ALFA Y BETA CON PROCESOS DE ATENCIÓN Y MEMORIA DE TRABAJO EN ESCOLARES”

**Reporte de Experiencia Profesional**

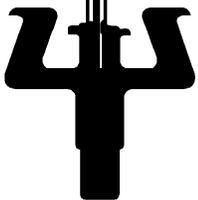
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN PSICOLOGÍA**

P R E S E N T A :

**MARLENE A. GALICIA ALVARADO**

DIRECTOR: DR. CÉSAR CASASOLA CASTRO  
REVISOR: DRA. IRMA YOLANDA DEL RIO PORTILLA  
SÍNODO: DR. HECTOR BRUST CARMONA  
DRA. MARÍA DOLORES RODRÍGUEZ ORTIZ  
MTRA. ITZEL GRACIELA GALÁN LÓPEZ



® **Facultad  
de Psicología**

MÉXICO, D.F. MAYO 2014.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Programa de Maestría y Doctorado en Psicología de la UNAM por proporcionarme la oportunidad de continuar fortaleciendo y adquiriendo habilidades académicas y profesionales.

Agradezco el apoyo del Fondo Sectorial de Investigación en Salud y Seguridad Social del proyecto SALUD-2011-C01-161587 por las facilidades otorgadas para la conclusión de este trabajo.

Con especial gratitud al Dr. Héctor Brust-Carmona por toda la paciencia y confianza que me ha otorgado desde el primer día en el laboratorio de EEG del INR. Gracias por compartir largas horas de análisis y discusión continua, por la enorme disposición para colaborar en conjunto y la generosidad de enseñarme en el transcurso de estos años. Muchas gracias por su estima y aprecio Dr., sin duda, su ejemplo y amor por la investigación han influido de manera determinante en mi trabajo.

Dr. César Casasola Castro, por conducirme en la realización de este trabajo. Muchas gracias por dedicarme en todo momento tu apoyo, tiempo, sugerencias y confianza. Aprecio y valoro mucho cada uno de tus comentarios y recomendaciones César; gracias por compartirme de tu experiencia y pericia académica, por acompañarme desde el ingreso al posgrado e impulsarme para continuar creciendo profesional y personalmente. Con toda mi admiración y respeto.

Al personal del Instituto Nacional de Rehabilitación: Dr. Carlos Pineda Villaseñor, Dr. Teodoro Flores, Dra. Blanca Flores, Dr. José Antonio Martínez, Ing. Oscar Yáñez y Tec. Ana Sánchez. Sin su valiosa colaboración, recomendaciones y apoyo constante este trabajo no hubiera sido posible y

A mis compañeros Eduardo Rodríguez y Susana Morelos por su invaluable colaboración y complicidad durante la realización del mismo.

## **AGRADECIMIENTOS PERSONALES**

A mamá, por ser mi ejemplo de esfuerzo, tenacidad, bondad y amor en cada una de mis acciones. Sin duda, su recuerdo inspira mi trabajo cotidiano e impulsa a ser un mejor humano. Gracias por enseñarme que nada es imposible, tan sólo hace falta imaginarlo.

A papá, por demostrarme que el trabajo empieza desde muy temprano y es mejor hacerlo con una sonrisa. Gracias por acompañarme en cada una de mis travesías matutinas, por brindarme tu consejo y la seguridad de tu apoyo en mis decisiones.

Rosy, mi única hermanita favorita, mi cómplice en distintos momentos de la vida. Sin importar la distancia y el horario sé que siempre puedo contar contigo al instante; gracias por compartir sonrisas, amigos, desvelos y una que otra lágrima a lo largo de estos años. Siempre será mi pequeña gran hermanita.

Israel, gracias por tu eterna confianza y cariño. Somos dos luchadores impulsados por la misma clase de energía, juntos hemos podido alcanzar cualquier meta. Ambos confiamos en que el otro nos cuida la espalda, nos sostiene en los momentos de flaqueza y ayuda a enderezar el timón cuando se pierde el rumbo. Gracias por confiar y ayudarme a construir este pedacito de sueño desde el primer día, sin ti, no lo hubiera logrado amigo.

Fer, Helena, Florencia y Lau, “las malas personas”. Sólo ustedes pueden comprender el gran desafío que vivimos juntas, las eternas y largas noches de desvelos, las sonrisas de nuestros pacientes, la caída de cabello por estrés, las recurrentes visitas al médico u hospital, nuestras bebidas coquetas para mantenernos una semana más con vida y el inmenso deseo de terminar una tesis. Gracias por enseñarme el valor de la amistad y lealtad, gracias por ser y estar...

Iztel Galán y Gabriela Orozco, más allá de sus conocimientos y experticia, gracias por su constante aliento, apoyo y sincera amistad. Me quedan grabadas en el corazón cada una de sus palabras y consejos. Gracias por compartir congresos, tareas y cafés... Ambas, mujeres brillantes, congruentes, bondadosas, fuertes y divertidas. Ambas, mis mejores maestras de la vida.

Con mi admiración y cariño.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>5</b>
<b>1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>6</b>
1.1. <i>Electroencefalograma (EEG)</i> .....	6
1.1.1. EEG en reposo .....	11
1.1.2. Ritmo Alfa.....	12
1.1.3. Beta .....	15
1.1.4. EEG y desarrollo en la infancia .....	17
1.2. <i>Cognición y EEG</i> .....	20
1.2.1. Atención .....	22
1.2.2. Atención y EEG .....	29
1.2.3. Memoria de trabajo .....	32
<b>2. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>34</b>
<b>3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....</b>	<b>35</b>
3.1. <i>Objetivo general</i> .....	35
3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	35
3.3. <i>Hipótesis nula</i> .....	36
<b>4. MÉTODO.....</b>	<b>37</b>
4.1. <i>Diseño de estudio</i> .....	37
4.2. <i>Muestra de estudio</i> .....	37
4.3. <i>Criterios de selección</i> .....	38
4.4. <i>Instrumentos</i> .....	38
4.5. <i>Aparatos</i> .....	40
4.6. <i>Procedimiento</i> .....	40
4.7. <i>Análisis de resultados</i> .....	42
4.8. <i>Consideraciones éticas</i> .....	44
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>45</b>
5.1. <i>Características electroencefalográficas</i> .....	45
5.1.1. Alfa.....	45
5.1.2. Beta .....	48
5.2. <i>Rendimiento cognoscitivo general</i> .....	51
5.2.1. Rendimiento cognoscitivo por proceso .....	54
5.2.2. Rendimiento cognoscitivo por subproceso .....	58
5.3. <i>Relación de la potencia de alfa y beta con el funcionamiento cognoscitivo</i> .....	61
5.3.1. Relación entre Atención-Funciones Ejecutivas y la potencia absoluta de alfa y beta. ....	62
5.3.2. Relación entre detección visual y la potencia absoluta de alfa y beta. ....	64
5.3.3. Relación entre detección de dígitos y la potencia absoluta de alfa y beta. ....	66
5.3.4. Relación entre series sucesivas y la potencia absoluta de alfa y beta. ....	67
5.3.5. Relación entre dígitos en regresión y la potencia absoluta de alfa y beta. ....	68
5.3.6. Relación entre cubos en regresión y la potencia absoluta de alfa y beta. ....	70

5.3.7. Resumen de las relaciones cognoscitivas y la potencia de alfa y beta.....	70
<b>6. DISCUSIÓN .....</b>	<b>72</b>
<b>7. LIMITACIONES Y APORTES .....</b>	<b>80</b>
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>82</b>
<b>9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>83</b>

## RESUMEN

**Introducción:** La frecuencia electroencefalográfica alfa comúnmente se vincula con un estado de activación, control atencional y operaciones de la memoria de trabajo. Por su parte, la frecuencia beta comúnmente se relaciona con funciones sensoriomotoras y recientemente se ha descrito su participación en procesos de atención. No obstante, existen pocos estudios sobre la asociación entre medidas espectrales del EEG y variables neurocognoscitivas en infantes sanos sin antecedentes clínicos. El objetivo del presente estudio es analizar relación entre la potencia absoluta de la frecuencia alfa y beta en condiciones de reposo con el desempeño en actividades atencionales y de funcionamiento ejecutivo en una muestra de niños escolares mexicanos físicamente sanos y sin antecedentes de alteraciones neurológicas o bajo desempeño escolar.

**Método:** Investigación descriptiva con un diseño transversal correlacional doble ciego. El grupo de estudio estuvo conformado por 10 niños y 10 niñas de entre 9 y 10 años de edad, con 7 años de escolaridad a quienes se les realizaron entrevistas estructuradas, registro EEG bipolar en derivaciones laterales y parasagitales y evaluación neuropsicológica a través del instrumento NEUROPSI Atención y Memoria. Se calculó la potencia absoluta (PA) a través de la transformada de Fourier para las frecuencias alfa ( $\alpha$  8.5-13.0 Hz) y beta ( $\beta$  13.5-30 Hz). Se realizaron análisis de correlación de Spearman entre las variables electrofisiológicas y los puntajes obtenidos en las subescalas de procesos de detección visual, detección de dígitos, series sucesivas, dígitos y cubos en regresión. Adicionalmente, Se utilizaron estadísticos de tendencia central para la descripción de datos sociodemográficos, rendimiento cognoscitivo y potencia del EEG de los participantes. **Resultados:** El 90% de los niños tuvo la habilidad para elegir estímulos visuales relevantes y evitar la distracción por aquellos irrelevantes (detección visual:  $13 \pm 3.6$  estímulos correctos); el 75% de los niños logró mantener el esfuerzo atencional durante períodos prolongados de tiempo tanto con estímulos repetitivos (detección de dígitos:  $7.8 \pm 1.5$  estímulos) como con material automatizado (series sucesivas: el 55% completaron la tarea sin errores en  $\leq 45$  s). La totalidad de los participantes logró mantener y manipular mentalmente información audioverbal y visoespacial en función de su edad (dígitos en regresión:  $4 \pm 0.57$ ; cubos en regresión:  $5 \pm 0.9$ ). Se encontraron correlaciones significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el número de aciertos en la prueba de detección visual y la potencia absoluta en F1-F7 ( $r = -0.51$ ), F2-F4 ( $r = -0.52$ ) y P4-O2 ( $r = -0.48$ ) de  $\alpha$  y P4-O2 ( $r = -0.55$ ) de  $\beta$ ; la PA de  $\beta$  en la derivación F3-C3 con el rendimiento en series sucesivas ( $r = -0.47$ ) y, por último, la PA de  $\alpha$  de las derivaciones F2-F8 ( $r = -0.50$ ) y F2-F4 ( $r = -0.53$ ) con el desempeño en dígitos en regresión. **Conclusiones:** La PA de  $\alpha$  y  $\beta$  registrada en estructuras que forman parte del circuito fronto-parietal es inversamente proporcional al desempeño de los niños en actividades que precisen de atención selectiva, sostenida y probablemente operaciones de la memoria de trabajo en población infantil escolar sana.

# 1. ANTECEDENTES

## 1.1. Electroencefalograma (EEG)

El electroencefalograma (EEG) es una técnica de registro electrofisiológico no invasiva que permite estudiar la actividad eléctrica del cerebro. Específicamente, el EEG permite registrar la actividad eléctrica neuronal de forma global en tiempo real, utilizando para ello una serie de electrodos situados estratégicamente en diferentes zonas de la superficie del cuero cabelludo de acuerdo a un sistema estándar internacional (sistema 20-10).

La señal electroencefalográfica consiste en una sucesión y mezcla de ondas eléctricas cerebrales sinusoidales que subyacen a diferentes procesos neurales, incluyendo procesos cognoscitivos, motores o sensoriales (Banaschewski y Brandeis, 2007). Por tanto, el EEG comprende el registro de las variaciones del potencial de membrana, incluida la acción de los potenciales postsinápticos excitadores e inhibidores de un gran ensamblaje de neuronas corticales y su representación en una gráfica de voltaje contra el tiempo (Brust-Carmona et al., 2013)

Las ondas registradas en el EEG proceden principalmente de potenciales electrotónicos de células piramidales, tales como los Potenciales Postsinápticos Excitadores (PPSE) y los Potenciales Postsinápticos Inhibidores (PPSI) (Banaschewski, 2007). Estos potenciales sinápticos crean un flujo de corriente entre las zonas más profundas y superficiales de la corteza cerebral dando como resultado un movimiento de cargas eléctricas y la creación de campos eléctricos que se pueden registrar en la superficie craneal (Niedermeyer y Lopes da Silva, 1987).

De acuerdo con diversos autores, el EEG consiste en la actividad de un conjunto de generadores que producen oscilaciones rítmicas en diversos rangos de frecuencias (Başar et al., 1997; Anokhin et al., 1996); estos generadores usualmente se activan de manera aleatoria. Sin embargo, ante la estimulación sensorial, los generadores se acoplan y actúan conjuntamente y co-inherentemente. Dicha sincronización electroencefalográfica da lugar a una ritmicidad inducida dentro de una banda de

frecuencia definida: “ritmo alfa”, “ritmo theta”, etc. (Başar et al., 1997). Al igual que en la comunicación por radio, las oscilaciones en diferentes frecuencias son capaces de transmitir información específica de diferentes fuentes para ser recodificada en estructuras selectivas a ese rango de frecuencia (Battaglia y Mcnaughton, 2011).

De esta forma, el EEG se considera como una señal activa que refleja el control que ejercen las neuronas corticales ante estímulos sensoriales y cognoscitivos. Asimismo, la investigación fisiológica ha demostrado que la actividad oscilatoria espontánea (intrínseca) depende factores como la topografía de la zona de registro, el estado de vigilia, la presencia de patología y la edad. Éste último factor, es uno de los más importantes en los cambios de amplitud y frecuencia observados en el EEG durante el transcurso del neurodesarrollo (Basar et al., 1997).

Las ondas electroencefalográficas generalmente son clasificadas de acuerdo a su frecuencia dominante, amplitud, forma y topografía (Ver Tabla 1). De esta manera, las oscilaciones corticales se suelen clasificar en cinco bandas principales de frecuencia: delta (0.5-3.5 Hz), theta (4-7 Hz), alfa (8-12 Hz), beta (13-30 Hz) y gamma (>30 Hz).

*Tabla 1. Características generales de las principales ondas EEG\*.*

	<b>Delta</b>	<b>Theta</b>	<b>Alfa</b>	<b>Beta</b>
Frecuencia	< 4.0 Hz)	4.0 – 7.0 Hz	8.0 – 12.0 Hz	13.0 – 30.0 Hz
Topografía	Temporales	Temporales	Occipital	Frontal Parietal
Características en el desarrollo	Predominante durante el período neonatal e infancia temprana.		Incrementa paulatinamente hasta la adolescencia	Continúa su maduración hasta la adultez.
Principal neuromodulación	Relacionados con receptores muscarínicos colinérgicos.			Asociado con el receptor GABA <sub>A</sub>

\*Modificado de Banaschewski y Brandeis, 2007.

Una interrogante constante, aun del todo no resuelta, es el papel que tienen las diferentes frecuencias de EEG en los distintos procesos neurofisiológicos y con que operaciones perceptuales, sensoriomotoras o cognoscitivas están asociadas. Al respecto, una gran variedad de estados y funciones se han relacionado con cada una de las frecuencias descritas. Por ejemplo, delta es la frecuencia dominante durante el sueño profundo (Steriade et al., 1993) y también se le ha vinculado con procesos de aprendizaje, motivacionales y del sistema de recompensa en el cerebro (Knyazev, 2007; 2012), la actividad en la banda theta se ha relacionado con procesos de memoria de trabajo (Jensen y Lisman, 2005), activación emocional y miedo condicionado, memoria a largo plazo y codificación semántica (Klimesch, 1999). La frecuencia alfa comúnmente se vincula con un estado de activación y control atencional en ausencia de estímulos sensoriales así como en operaciones de la memoria de trabajo, memoria a corto plazo e inhibición (Knyazev, 2007). Por su parte, la frecuencia beta clásicamente se ha considerado como un ritmo relacionado con la función sensoriomotora (Pfurtscheller et al., 1996) y sueño paradójico (MOR), sin embargo, como se comentará en apartados sucesivos, su rol en procesos cognoscitivos ha generado bastante controversia.

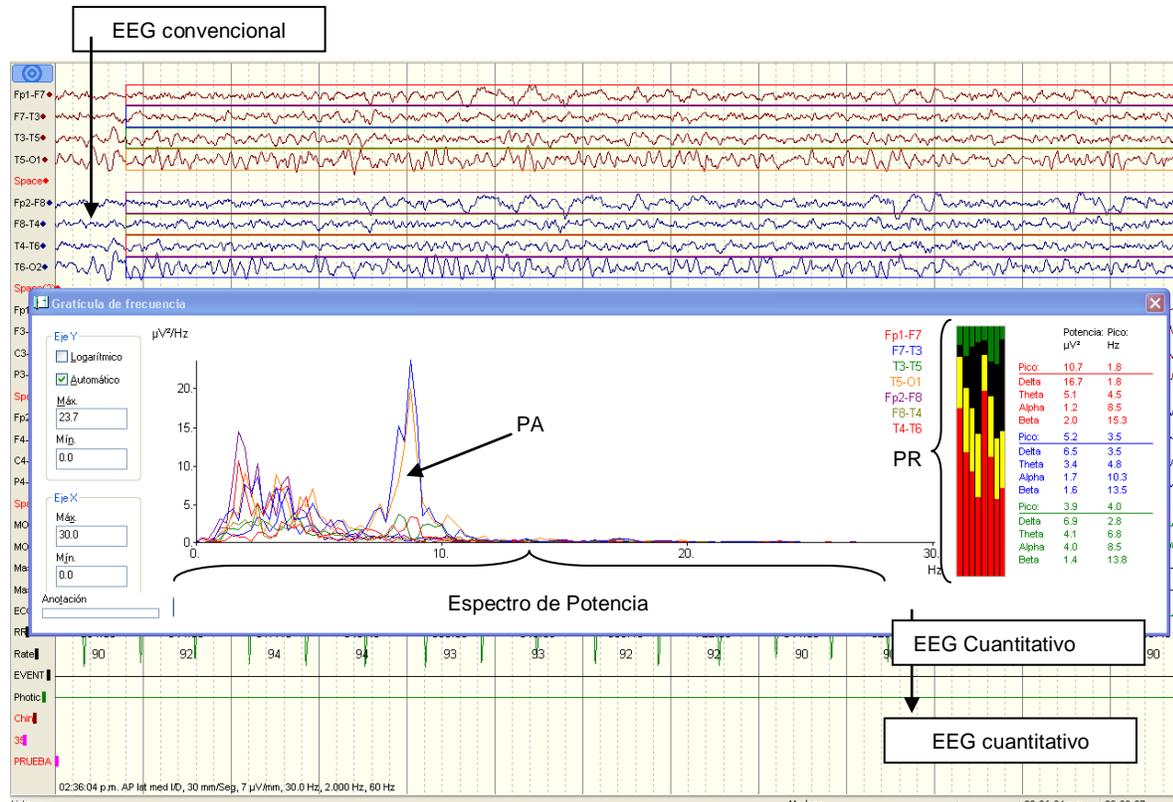
En general se acepta que es muy difícil asociar funciones cognitivas de manera única y directa con la actividad oscilatoria en un rango de frecuencia específico o viceversa. Sin embargo, tanto las observaciones clínicas y experimentales han demostrado que los ritmos rápidos indican un estado funcional de mayor activación que aparentemente se distinguen por un patrón de interacción específico. Por el contrario, los estados funcionales de baja activación, como el sueño profundo o la anestesia se caracterizan por un patrón de sincronización menos específico o global en el rango de frecuencias lentas (Engel y Fries, 2010). Una de las hipótesis en relación a las funciones de los ritmos EEG predice que los diferentes rangos de frecuencia permiten interacciones dinámicas entre las poblaciones neuronales, de tal forma que las oscilaciones lentas (delta, theta) pueden apoyar el acoplamiento funcional de las neuronas a través de regiones mucho más distantes que las oscilaciones rápidas, como la frecuencia gamma (Kopell et al., 2000).

Además, se ha demostrado que la composición de frecuencias electroencefalográficas es altamente heredable y refleja el estado de desarrollo y alerta cognoscitivo (van Beijsterveldt y van Baal, 2002; van Beijsterveldt y Boomsma, 1994). De esta forma, se calcula que entre el 76 y 89% de la variación intersujetos observada en la mayoría de los parámetros EEG es debido a factores genéticos (van Beijsterveldt, et al., 1996).

El EEG cuantitativo (EEGc) ofrece múltiples ventajas con respecto a la inspección visual del trazo electroencefalográfico convencional, incluyendo la capacidad para derivar medidas a partir de la transformación de datos e identificar cambios sutiles en los tipos y patrones de actividad del EEG. Las medidas cuantitativas del EEG frecuentemente utilizadas en los diferentes montajes incluyen: el análisis espectral (la composición de frecuencias del EEG durante un período determinado), la potencia absoluta (el área representada bajo la curva del espectro) y relativa (amplitud de la banda de frecuencia dividida por la amplitud total), coherencia (la correlación en la actividad cerebral de regiones espacialmente diferentes), fase (relación en el tiempo de la actividad eléctrica entre diferentes regiones) y la asimetría entre pares de electrodos homólogos. A todos estos valores, se les conoce también como medidas espectrales de banda ancha (MEBAs) (Arciniegas, 2011; Ricardo, 2004; Matusevich, Ruiz y Vairo, 2002).

Para llevar a cabo un análisis espectral, es necesario amplificar la señal del EEG para convertirla en señales digitales. La digitalización se lleva a cabo tomando muestras a ciertos intervalos predefinidos y equidistantes, para convertirlas en valores numéricos. La frecuencia de muestreo debe ser igual o el doble de la frecuencia más alta de interés (Marosi, 2008). Posteriormente, se selecciona un grupo de segmentos de EEG, libres de artefactos y de actividad paroxística y en cada uno de ellos se calcula la transformada de Fourier (FT). Por medio de este análisis, se descompone la señal del EEG en una serie de ondas sinusoidales (senos y cosenos) que corresponden a las diferentes frecuencias que constituyen la señal original. A cada serie de ondas le corresponde una amplitud y una fase característica de acuerdo con las peculiaridades de la señal. A partir de esto, se calcula el espectro de potencia, que es la energía

(potencia) en  $\mu\text{V}^2$  de cada componente, lo cual se expresa en una gráfica de la potencia en función de la frecuencia, es decir, del cuadrado de la amplitud de la senoide en cada frecuencia (ver figura 1) (Marosi, 2008; Ricardo, 2004).



**Fig. 1.** Ejemplo de un registro digital convencional (fondo) y un EEGc (recuadro) simultáneo. El EEG convencional incluye la inspección y selección visual del trazo electroencefalográfico. El EEGc (recuadro) incluye la descomposición de la señal EEG en ondas sinusoidales de diferentes frecuencias a través de la transformada de Fourier. A partir de ello, es posible obtener el espectro de potencia así como las potencias absoluta (PA) y relativa (PR) para cada una de las bandas y derivaciones. Colores de PR: rojo (delta), amarillo (theta), negro (alfa) y verde (beta).

El análisis de frecuencias del EEG se puede realizar utilizando las potencias correspondientes a cada frecuencia, frecuentemente dividiendo la señal en segmentos de 1 Hz (análisis de banda estrecha), o bien por bandas, para lo cual se utilizan los límites de frecuencia de los ritmos electroencefalográficos previamente descritos (análisis de banda ancha) (Evans y Abarbanel, 1999). Es importante considerar que la potencia ( $\mu\text{V}^2/\text{ciclo}/\text{seg}$ ) es considerada como una medida de “amplitud absoluta” en la cual no sólo se refleja la amplitud de los generadores EEG, sino también de factores eléctricos no cerebrales como la resistencia del cuero cabelludo, el grosor del cráneo y

diversas propiedades de conductancia anisotrópicas del cráneo (diferentes regiones del cráneo tienen diferentes conductancias; Ricardo, 2004). Dentro de las ventajas que ofrece el EEGc se destacan: la medición objetiva del trazado, adquisición digital, posibilidad de cambiar montajes, medición exacta de amplitudes y frecuencias, manejo estadístico de datos y comparación de resultados contra patrones de normalidad.

### 1.1.1. EEG en reposo

El estado de vigilia en reposo ha sido una de las condiciones ampliamente utilizadas durante las técnicas de registro neurofisiológico como el EEG. Anokhin et al. (1996), señalan que la condición de reposo con los ojos cerrados representa una línea base de la actividad cerebral que refleja el número y diversidad de sistemas funcionales que subyacen a procesos “mentales” de “alto orden”, de manera que las variaciones locales en los valores basales de la actividad eléctrica cerebral durante la ejecución de una tarea pueden ser interpretadas como una “activación o inactivación” en respuesta a una condición experimental definida con precisión (Laufs et al., 2003).

Tal como señalan Laufst y cols. (2003), desde los primeros registros electrofisiológicos, la “actividad espontánea” se ha observado en los patrones de descarga neuronal; las neuronas no sólo disparan en relación a eventos sensoriales o conductuales sino también de forma variable y aparentemente impredecible en un estado de reposo. En el contexto experimental clásico, tal actividad impredecible se ha considerado actividad de fondo o “ruido”. Sin embargo la evidencia actual sugiere que la actividad espontánea se expresa coherentemente en extensas poblaciones neuronales y funcionalmente significativas. Al respecto Gusnard (2001), propone que el estado de vigilia en reposo corresponde a un estado “default” de la función cerebral que se suspende cuando el cerebro se involucra en el procesamiento de una tarea.

En contraste a la idea de una actividad basal estática en estas condiciones, la vigilia en reposo parece ser una actividad intrínsecamente dinámica y diferente de otros estados funcionales en virtud de la asociación preferente con subconjuntos neuronales específicos (cognitivos). Los estudios sobre el funcionamiento de las redes

neuronales y el vínculo con la actividad oscilatoria, en los últimos años han empleado el registro simultáneo de EEG e imagen por resonancia magnética funcional (IRMf) para relacionar la potencia absoluta del EEG con los cambios en el nivel de oxígeno en la sangre (Laufs et al., 2003; Michels et al., 2013). Una observación regular es que el acomplamiento entre el EEG y la señal BOLD (*Blood Oxygen Level Dependent*) depende de la banda de frecuencia examinada así como del estado de reposo o activación estudiado. En la condición de reposo con los ojos cerrados (OC) Michels y colaboradores (2013), reportaron correlaciones negativas entre la potencia de alfa y beta y los cambios en la señal BOLD, predominantemente de las regiones parieto-occipitales así como talámicas. Por su parte Laufs y colaboradores (2003), encontraron una fuerte correlación negativa entre la potencia de la banda alfa (en el rango de 7-10 Hz) y la actividad de la corteza frontal lateral y parietal, regiones involucradas directamente con procesos atencionales; a su vez, la potencia del rango beta de 17 a 23 Hz se correlacionó positivamente con la actividad de la región retrosplenial, temporo-parietal y prefrontal dorsomedial.

### 1.1.2. Ritmo Alfa

Desde 1930, es sabido que la actividad electroencefalográfica dominante en individuos sin patología, al mantener los ojos cerrados y en condiciones de reposo es el ritmo alfa (Berger, 1930). El típico EEG en reposo consiste en el registro de la actividad eléctrica en estado de alerta y relajación con los ojos cerrados. El ritmo alfa comprende la banda de 8- 12 Hz que es sobresaliente en la región parieto-occipital; esta banda de frecuencia puede asociarse con un estado de alerta y de relajación, sin embargo comúnmente se utiliza como una medida indirecta de la organización funcional del cerebro (Oishi et al., 2007).

Clínicamente, este estado de relajación y de alerta refleja un estado de control que es fácilmente replicable en una amplia variedad de grupos y edades. Se propone que la presencia del ritmo alfa en estado de vigilia puede denotar un estado de “ocio” en regiones de la corteza que se encuentran desocupadas (Pfurtscheller et al., 1996a) o por el contrario, la presencia de inhibición cortical (Klimesch et al., 2006; 2007).

Asimismo, es conocida la disminución en la amplitud de la actividad alfa ante la apertura de los ojos o al realizar tareas cognoscitivas de creciente dificultad, fenómeno conocido como “reacción de bloqueo de alfa” o “Reacción de Desincronización Occipital”. Esta desincronización del ritmo alfa, se ha interpretado como un reflejo de la actividad del sistema visual, debido a su estimulación por la vía sensorial primaria y probablemente también por el Sistema Reticular Activador (Moruzzi y Magoun, 1949). La desincronización de alfa ante estimulación visual también se ha referido como el reflejo de interacciones corticales y tálamo-corticales generalizadas que favorecen el procesamiento de la información (Barry et al., 2009); asimismo, la supresión del ritmo alfa también se relaciona con un incremento en la actividad metabólica en el tálamo (Larson et al., 1998).

Se ha planteado que la frecuencia alfa es sensible a la demanda de un estímulo y/o tarea, ya sea con una disminución o aumento en la amplitud/potencia que se describe como la desincronización o sincronización relacionada a eventos (ERD/ERS, Pfurtscheller et al, 1996a). Sin embargo, recientemente se ha iniciado el análisis de otras frecuencias EEG, particularmente de los ritmos delta, theta, beta y gamma, en relación a su participación en procesos sensoriales, perceptivos y cognoscitivos.

Una suposición implícita en la investigación electroencefalográfica es que las oscilaciones corticales tienen un impacto sobre el procesamiento de la información proporcional a su magnitud y localización. Siguiendo ésta lógica, la sincronización relacionada con eventos (ERS) tendría que ser considerada como la respuesta relevante de activación en la banda alfa; sin embargo, esta postura se contrapone con “la visión clásica de la supresión de la actividad alfa” al abrir los ojos. La desincronización del ritmo alfa (ERD) se supone que refleja el grado de activación cortical o bien, excitación de la corteza cerebral. Por lo general, los reportes de desincronización de la actividad alfa (8 a 13 Hz) en adultos, se han relacionado tanto con el procesamiento de información cognoscitiva (memoria, atención, lenguaje, etc.) como emocional (Buzáki, 2006); por lo tanto, como señala Bell (2002) es muy probable que patrones específicos de las fluctuaciones de los niveles de potencia en las distintas

bandas de frecuencia definidas estén asociadas con diferentes tipos de procesos cognoscitivos, sin embargo este tipo de información aún no es del todo consistente en población infantil.

Numerosos estudios (Haegens, 2011; Klimesch et al., 2007, 2012) han sugerido que el aumento en la amplitud del ritmo alfa (ERS) refleja un proceso inhibitorio en las regiones corticales relacionadas con la tarea/estímulo que pudieran interferir con su adecuado procesamiento, mientras que una disminución en la amplitud (ERD) es un reflejo de la liberación de dicha inhibición y por tanto, la magnitud del ERD representa el grado de activación cortical, tal como señala la teoría clásica (Pfurtscheller et al., 1996a).

Por último cabe mencionar que existe una vasta evidencia de que las modificaciones del ritmo alfa representan mecanismos neurofisiológicos directamente relacionados con diferencias individuales en el procesamiento de la información (Klimesch et al., 1993).

#### 1.1.2.1. Bases fisiológicas del ritmo alfa

La investigación sobre el origen de las oscilaciones en diferentes bandas de frecuencia EEG ha dejado claro que existen complejos sistemas de neuromodulación, que incluyen al tallo cerebral, el tálamo y la corteza, los cuales regulan y generan el espectro de potencia EEG por medio de los sistemas de neurotransmisión clásicos (Steriade et al., 1990; McCormick, 1992) a los que se han sumado probables efectos de transmisión efáptica entre células neuronales como gliales. Sin embargo, en un sentido electrofisiológico, la potencia en una frecuencia determinada refleja el grado de sincronización de un ensamblaje neuronal local (Klimesch, 1999; Zhang, 2008).

La fisiología de las oscilaciones corticales ha sido estudiada, particularmente en la investigación con animales, para ciertos tipos de frecuencias, especialmente en el dominio theta y gamma. Sin embargo, tal como apunta Klimesch (2012), pocos estudios se han enfocado en la naturaleza de las oscilaciones alfa, aun cuando existe abundante

evidencia sobre la influencia inhibitoria de este ritmo en la generación de potenciales de acción, los mecanismos fisiológicos exactos que generan la actividad de la banda alfa aún no se conocen por completo (Klimesch, 2012). Se sabe que el ritmo alfa desempeña un papel importante en la sincronización de los circuitos tálamo-cortico-talámicos. Específicamente se describe al núcleo geniculado lateral y al pulvinar entre los núcleos talámicos sobresalientes en la modificación de la actividad alfa, particularmente se sugiere que el núcleo pulvinar modula la sincronía del ritmo alfa (en desincronización o sincronización) entre diversas áreas corticales en función de las demandas atencionales (Saalmann et al., 2012). Adicionalmente, investigaciones recientes acerca de las fuentes generadoras del ritmo alfa en macacos, sugieren que éste ritmo se encuentra presente en diferentes capas corticales (Bollimunta et al., 2008). En este sentido, en preparaciones in vitro se ha observado que los generadores corticales del ritmo alfa se encuentran localizados en la capa V de la corteza occipital (Silva et al., 1991).

Sobre la posible naturaleza inhibitoria de las oscilaciones en la banda alfa, Lörincz et al. (2009), demostraron que un subtipo de neuronas excitadoras tálamo-corticales que disparan en la frecuencia de alfa, favorecen la activación de interneuronas inhibitorias y con ello de actividad GABAérgica. Recientemente, se ha reconceptualizado la noción del ritmo alfa como un mecanismo que amplifica la relación señal-ruido dentro de la corteza, por medio de la inhibición de los procesos innecesarios o en conflicto para la resolución de una tarea (Klimesch et al., 2006; 2007; Knyazev, 2007). Esta hipótesis implica que las oscilaciones alfa deben de tener una función muy importante en una gran variedad de procesos cognoscitivos debido a que los mecanismos inhibitorios contribuyen en diferentes fenómenos biológicos y del comportamiento.

### 1.1.3. Beta

Posterior al descubrimiento del ritmo alfa, Hans Berger describió un segundo tipo de onda de menor amplitud y mayor rapidez, presente al abrir los ojos, que denominó como ritmo “beta” siguiendo el orden del alfabeto griego (Buzáki, 2006). Sin embargo,

es hasta 1974 que la Federación Internacional de Sociedades de Electroencefalografía y Neurofisiología Clínica, por convención, introduce la primera taxonomía de los ritmos electroencefalográficos conocida hasta ahora (Buzáki, 2006). De esta forma, la actividad rítmica comprendida entre 13 a 30 Hz se denominó como ritmo beta y se consideró como un indicador de activación cortical debido a que, comúnmente, se observa ante intensa actividad mental y tras estimulación sensorial (Whittington et al., 2000b). Las oscilaciones beta pueden ser fisiológica y topográficamente clasificadas en cuatro tipos: 1) *beta frontal*, la más frecuentemente reportada y compuesta por las frecuencias rápidas, 2) *beta central*, que es en parte la base del ritmo rolándico *mu* y se encuentra entremezclado con éste, 3) *beta posterior*, a menudo es un equivalente de alfa de alta frecuencia y 4) *beta difuso*, que no se encuentra ligado a ningún ritmo especial (Neidermeyer, 1999).

El ritmo Beta ha sido estudiado en estado de reposo tanto en voluntarios sanos como en sujetos con patologías del sistema nervioso central de diversa índole (Neidermeyer, 1999; Rangaswamy et al., 2002). Sin embargo, desafortunadamente aún no se conocen exactamente los mecanismos fisiológicos exactos que generan la actividad de la banda beta. Se ha observado que muchos fármacos como las benzodiazepinas y barbitúricos producen un fuerte incremento en la potencia de beta (Domino et al., 1989; Feshchenko, Veselis y Reinsel, 1997). Ambos fármacos ejercen sus efectos por facilitación de la neurotransmisión GABAérgica, particularmente del receptor GABA<sub>A</sub>, mediada por iones de cloro (Brailowsky, 2002).

A partir de ello, algunos autores como Whittington y colaboradores (2000a) sugieren que las oscilaciones rápidas como el ritmo beta, son el resultado de una compleja interacción dentro de pequeñas redes neuronales que involucran a células piramidales excitatorias e interneuronas inhibitoras. La frecuencia es controlada por la duración de los eventos sinápticos inhibitorios individuales y la potencia de la oscilación es, además, afectada por la amplitud de la respuesta sináptica de receptores GABA<sub>A</sub>. Fármacos depresores del SN prolongan el potencial postsináptico inhibitorio del receptor GABA<sub>A</sub>, el cual disminuye el patrón de disparo de la célula piramidal a tal punto que, una administración prolongada, puede suprimir de forma permanente las

oscilaciones sincrónicas entre dos regiones separadas (Whittington, 2000a,b). A partir de lo anterior, se ha postulado que las oscilaciones en la frecuencia de 12 a 80 Hz son el resultado o se encuentran estrechamente relacionados con el comportamiento de las interneuronas y por tanto, al ritmo beta se le ha considerado como un ritmo ligado a procesos inhibitorios.

Trabajos recientes han demostrado que la transición de frecuencias lentas a frecuencias rápidas como el ritmo beta, parece estar asociado a un mecanismo empleado por el cerebro para buscar y establecer comunicación sincrónica entre regiones cerebrales específicas y espacialmente separadas por varios milímetros (von Stein et al., 1999). Particularmente, se ha observado que la integración multimodal de extensas áreas sensoriales, asociativas y motoras resulta de un período de oscilaciones rápidas en la corteza cerebral (Whittington et al., 2000b). De acuerdo con Whittington y colaboradores (2000a,b) esta actividad sincrónica se observa principalmente en la corteza visual medial en respuesta a estímulos binoculares así como entre la corteza visual primaria y áreas de asociación.

#### 1.1.4. EEG y desarrollo en la infancia

El EEG es una herramienta de fácil acceso que permite obtener medidas confiables del estado de alerta y de regulación normal o patológica de la actividad eléctrica neuronal en prácticamente cualquier edad del individuo, incluyendo la infancia.

Desde la introducción del análisis cuantitativo del EEG, el análisis de parámetros espectrales en condiciones de reposo en niños ha sido estudiado con resultados en ocasiones contradictorios. Al respecto, uno de los primeros estudios es el de Matousek y Petersén (1973). Dichos autores analizaron la potencia absoluta y relativa de 401 niños y 160 adolescentes de 1 a 15 años de edad. Entre sus resultados, los autores comentan que estos parámetros espectrales varían fuertemente con la edad y topografía, en función de la banda de frecuencia registrada.

Asimismo, Gasser et al. (1988), investigaron el desarrollo electroencefalográfico en condiciones de reposo de niños y adolescentes de 6 a 17 ( $11.6 \pm 2.8$ ) años de edad, analizando la potencia absoluta y relativa. Los autores encontraron que en relación al desarrollo, las medidas espectrales de banda ancha a menudo no obedecen a un patrón lineal, sino polinómico (cuadrático y cúbico), especialmente para la frecuencia alfa. En este mismo sentido los autores describieron que el incremento máximo en la potencia relativa de alfa<sub>2</sub> (10-13 Hz) en regiones posteriores (PZ, O2 y O1) era aproximadamente a los 10 de años de edad, el cual coincide con un decremento máximo en la potencia de theta. Este hallazgo, en opinión de los autores, podría indicar una maduración más temprana en regiones occipitales para estas frecuencias. Mientras que para la banda beta, se encontraron indicios de una maduración inicial en regiones centrales y parietales mediales.

Por otra parte, Barry et al. (2004), realizaron un estudio sobre los cambios asociados a la maduración en el EEG por efecto de la edad y género en una muestra de 80 niños entre los 8 y 12 años de edad. Para estimar la potencia total, absoluta y relativa de los ritmos delta, theta, alfa y beta, registraron la actividad eléctrica en 21 derivaciones con un montaje monopolar utilizando el paradigma de ojos cerrados. Entre sus hallazgos, los autores refieren un decremento lineal en la potencia absoluta de la frecuencia delta así como de la potencia relativa de delta y theta conforme aumentó la edad. Por su parte, la potencia relativa de alfa y beta se incrementó en función de la edad de los niños. Estos cambios en la potencia ocurrían de manera más acentuada en las regiones posteriores que en las frontales, especialmente en la potencia absoluta de alfa y relativa de delta, theta y alfa. De acuerdo a estos autores, estos resultados pueden interpretarse como un cambio en la actividad eléctrica de ondas lentas a rápidas relacionados con la edad. En función de la topografía, en este mismo estudio, los autores analizaron con montajes monopolares, el promedio de la potencia absoluta en las regiones frontales, centrales, posteriores y línea media de la muestra de participantes. Acorde con esta división, las regiones corticales posteriores (T5, P3, O1; T6, P4 y O2) comparadas con las regiones frontales (F1, F3, F7; F2, F4 y F8) mostraron una mayor potencia en el espectro de frecuencias total así como en la potencia absoluta de las cuatro frecuencias. Específicamente para el ritmo alfa, se reportó que la

potencia absoluta en las regiones frontales tuvo un promedio cercano a los 20 ( $\pm 10$ )  $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ , mientras que en la región posterior izquierda la potencia absoluta fue de 123 ( $\pm 86$ )  $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$  y de 132 ( $\pm 91$ )  $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$  en la región homóloga. En el caso del ritmo beta, la potencia absoluta en derivaciones frontales fue cercana a 10 ( $\pm 3$ )  $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$  y en las regiones posteriores alcanzó un promedio de 17 ( $\pm 9$ )  $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ .

De esta forma, los estudios de neurodesarrollo llevados a cabo con métodos de análisis como el espectro de potencia, han demostrado cambios sustanciales en la actividad eléctrica del cerebro durante las diferentes etapas de la vida (Anokhin et al., 1996; Gasser et al., 1988). Al respecto, los cambios más pronunciados que se han reportado son la reducción generalizada de la amplitud del espectro total así como la disminución de la potencia relativa de las frecuencias delta y theta con aumento en la frecuencia alfa, los cuales se producen durante las dos primeras décadas de vida y se han asociado con la maduración del cerebro (Matousek et al., 1973; Benninger, 1984; Gasser et al., 1988; Somsen et al., 1997; Klimesch, 1999; Clarke, 2001; Barry et al., 2004; Banaschewski et al., 2007).

En estudios longitudinales sobre el desarrollo de las frecuencias EEG durante la niñez, la frecuencia de 9 a 10 Hz en regiones occipitales se ha reportado desde los 8 años de edad, con un incremento paulatino por encima de los 11 Hz a la edad de 10 a 11 años (Bell, 2002) y un pico de frecuencia máximo en la banda alfa a los 25 años de edad que disminuye lentamente después de los 30 años (Anokhin, 1988). Este patrón de actividad eléctrica sugirió que el estado fisiológico óptimo de la corteza cerebral ocurre alrededor de los 25 años de edad. Asimismo, la amplitud es generalmente mayor en el hemisferio no dominante en la potencia total como absoluta de delta, theta, alfa y beta (Barry et al., 2004). Esta asimetría raramente excede de los 20  $\mu\text{V}$  (Eisermann, 2013).

## 1.2. Cognición y EEG

Debido a que el volumen de la masa encefálica y el grosor de las capas corticales se correlacionan positivamente con la inteligencia, se ha inferido que el registro del EEG puede ser también una medida indirecta que refleja la capacidad o el rendimiento en el procesamiento de información cortical (Klimesch, 1999). Al respecto, en las últimas décadas se ha desarrollado una considerable cantidad de investigación experimental, que refiere una relación entre distintas medidas de inteligencia (p. ejem. el coeficiente intelectual) y diferentes parámetros electroencefalográficos, entre los que destaca de forma interesante la relevancia del ritmo alfa (Anokhin et al., 1996; Jausovec, 1996; Doppelmayr et al., 2002; Schmid et al., 2002; Grabner et al., 2004; Thatcher et al., 2005).

En relación a los estudios de inteligencia, Haier (Haier et al., 1988), fue uno de los primeros en postular la *hipótesis de la eficiencia neural* con base en la evidencia empírica que demuestra asociaciones negativas entre la inteligencia y el grado de activación cortical durante la realización de una tarea cognoscitiva. En su estudio, el autor midió la tasa metabólica de la glucosa en el cerebro de ocho voluntarios sanos por medio de tomografía por emisión de positrones (TEP) mientras realizaban las tareas de las Matrices Progresivas de Raven; las correlaciones significativas que se encontraron entre la tasa de consumo de glucosa y los resultados en el Raven mostraron asociaciones negativas comprendidas entre los coeficientes de correlación de -0.44 y -0.84, que sugerían que los niveles altos de inteligencia se relacionaban con bajos niveles metabólicos de glucosa, o bien, con una menor activación cortical. A la fecha, existen diferentes estudios con diversidad de técnicas a favor de la hipótesis de la eficiencia neural (Charlot et al., 1992; Ruff et al., 2003).

Por otra parte, diferentes estudios realizados tanto en población adulta como infantil, han sugerido una estrecha relación entre el rendimiento cognoscitivo y la actividad electroencefalográfica, no sólo cuando los registros de EEG y neuropsicológicos son conducidos de forma simultánea, sino también cuando ambas valoraciones son recolectadas en distintas ocasiones (Koop et al., 2005). Sin embargo,

tal como señala Garcell (2004), existen muy pocas referencias sobre la asociación existente entre las medidas espectrales del EEG y variables derivadas de pruebas neuropsicológicas de uso frecuente en población infantil.

En población infantil, las investigaciones que analizan la relación entre el desempeño neuropsicológico y medidas espectrales del EEG se han enfocado predominantemente en describir los posibles déficits cognoscitivos en áreas de cálculo, lectura (Roger et al., 1991; Harmony et al., 1995) y atención (Barry et al., 2004; 2009). Especialmente en niños con un diagnóstico de epilepsia, con dificultades de aprendizaje, de retraso mental o bien, trastorno por déficit de atención, empleando medidas globales del coeficiente intelectual (Anokhin, 1996; Fonseca et al., 2006) o algunas medidas aisladas del instrumento empleado para calcular el desempeño intelectual. En consecuencia, las diferencias en los procedimientos, en el registro, análisis e integración de los datos han generado que los resultados del análisis entre las medidas espectrales del EEG y el desempeño cognoscitivo sean ambiguos o poco claros e inclusive contradictorios. A este respecto, Gasser et al. (1983), plantean que las inconsistencias en los hallazgos reportados se encuentran asociados a diversos factores, entre los que resalta: (a) *el pequeño tamaño de las muestras*, las cuales en su mayoría son menores a 30 participantes y señalan que con éste tamaño es poco confiable detectar una correlación significativa o bien, que en su caso puede ser muy modesta, (b) *la inclusión de participantes con disfunciones cerebrales y/o alteraciones en la función intelectual*, dado que las asociaciones que se encuentren en tales casos pueden resultar de la disfunción específica y poco generalizables a otras poblaciones, (c) *el efecto de la edad*: los resultados obtenidos en los niños, incluso si las correcciones para los efectos de la edad se realizan, no pueden extrapolarse a la población adulta, (d) *los efectos específicos de género* que pueden también modificar la relación y (e) *las diferencias metodológicas relacionados con la valoración del EEG y el empleo de las pruebas de inteligencia*, específicamente en lo que refiere al número limitado de derivaciones del EEG, la subjetividad en su evaluación o bien, el empleo de una sola escala o subescalas de la prueba de desempeño intelectual.

No obstante las inconsistencias en los resultados y las diferencias metodológicas empleadas, diversas investigaciones coinciden en que las oscilaciones corticales, especialmente dentro de la banda alfa, se relacionan con el rendimiento en determinados dominios cognoscitivos. Se ha encontrado una relación positiva entre el rendimiento cognoscitivo en procesos de atención, percepción, memoria de trabajo y memoria a largo plazo con una potencia alta en el intervalo de la banda alfa de alta frecuencia (Klimesch, 2012; Anokhin, 1996). Sin embargo, el proceso cognoscitivo vinculado preferentemente con el ritmo alfa es la atención.

### 1.2.1. Atención

A lo largo de la historia, se han realizado numerosas definiciones sobre la atención en función de las distintas teorías y marcos conceptuales psicológicos. Aunque no existe una definición estándar y universalmente aceptada, ha quedado claro que la atención es uno de los componentes más importantes de la cognición humana y sienta las bases del adecuado funcionamiento cognoscitivo para procesos ulteriores. A pesar de las dificultades para lograr un consenso en su definición, la mayoría de los psicólogos concuerdan en que la cantidad de información proveniente del exterior e interior del organismo excede la capacidad del sistema nervioso para procesarla en paralelo, por lo que se hace necesario un mecanismo neuronal que regule, seleccione y organice los estímulos perceptuales. Este proceso selectivo que ocurre en respuesta a la capacidad de procesamiento limitada es conocido como atención (Heilman, 2002), el cual se va desarrollando progresivamente desde la infancia a la adultez, no sólo en lo que corresponde en la regulación de la entrada de información sino también en el procesamiento mismo de ésta. Acorde con Mesulam (1991), una definición de la atención debe considerar tanto sus componentes como sus implicaciones en procesos perceptivos, motores, límbicos o motivacionales. De acuerdo a este autor sus bases neuroanatómicas como neurofisiológicas se encuentran principalmente asociadas con el sistema reticular activador, el tálamo, el sistema límbico, los ganglios basales, la corteza parietal posterior y la corteza prefrontal. Sobre estas estructuras y su relación con la atención se detallarán en los apartados sucesivos.

### *1.2.1.1. Tipos y sistemas de atención*

A lo largo del tiempo se han postulado diferentes modelos neurocognoscitivos que intentan relacionar los distintos subprocesos de la atención con circuitos cerebrales y mecanismos neuronales particulares (Mesulam, 1981; Norman y Shallice, 1986; Stuss y Benson, 1984; 1986; Sohlberg y Mateer, 1989; Cooley y Morris, 1990; Posner y Petersen, 1990). Estos modelos muestran numerosas similitudes y en opinión de Meneses (2006), se complementan en diversos aspectos, entre los que cabe señalar los siguientes:

- a) En todos se propone que la atención se compone de una gran variedad de procesos;
- b) Se sostiene que los subprocesos de la atención dependen de grupos neuronales ubicados en distintas regiones del sistema nervioso central;
- c) Se indica que alteraciones funcionales localizadas en diferentes regiones del cerebro producen trastornos de atención con características específicas.

Con base en los modelos anteriores, así como en la investigación experimental y observación clínica, se reconocen implícitamente diversos tipos de atención en función de sus aplicaciones clínicas, sus características funcionales y en los que se ha enfatizado que la capacidad atencional es jerárquica. Es decir, los diferentes tipos de atención se caracterizan por niveles progresivos de requerimiento atencional, en donde los niveles superiores requieren de un esfuerzo atencional mayor que los precedentes. De manera que para tener éxito en tareas que requieren altos niveles atencionales, como la atención dividida, es necesario primero un adecuado desempeño en la atención sostenida y la atención selectiva (Sohlberg y Mateer, 2001). En la tabla 2 se describe la clasificación de los principales tipos de atención que comúnmente se utiliza en la literatura neuropsicológica con el objeto de clarificar los criterios conceptuales.

**Tabla 2.** Principales tipos de atención y algunas de sus características. Modificado de Estévez et al. (1997) y Sohlberg y Mateer (2001).

---

### Características de los principales tipos de atención

---

Tipo de atención	Descripción
<b>Alerta o arousal</b>	Nivel de consciencia del estadio IV del sueño a la hipervigilia. Es la capacidad de estar despierto y de responder específicamente a estímulos visuales, auditivos o táctiles; hace referencia al hecho de que los mecanismos de activación más básicos de un individuo le permiten reponer a los estímulos del medio ambiente. Las deficiencias de activación son evidentes durante la entrevista con el paciente y se manifiestan por aletargamiento y por la necesidad de repetir frecuentemente la estimulación para que el paciente responda. El aletargamiento generalmente refleja alteraciones en los niveles de consciencia por afección del sistema reticular activador ascendente debido a causas tóxico-metabólicas o lesiones estructurales.
<b>Atención sostenida</b>	Se refiere a la habilidad para mantener el estado de alerta y una repuesta conductual consistente durante una actividad continua y repetitiva a pesar de la frustración y el aburrimiento. Asimismo, este tipo de atención se puede dividir en dos subcomponentes: uno referente a la noción de <i>vigilancia</i> y otro en relación al <i>control mental o memoria de trabajo</i> .
<b>Atención selectiva</b>	Alude al proceso por el cual se le da prioridad a algunos elementos sobre otros. Se refiere a la habilidad para elegir los estímulos relevantes para una tarea, evitando la distracción por estímulos irrelevantes. Las personas con déficit en éste nivel son fácilmente distraídos por estímulos parecidos o irrelevantes, como sonidos, luces, actividades así como pensamientos (preocupación).
<b>Atención alternante</b>	Este nivel de atención se refiere a la capacidad de tener flexibilidad mental para permitir a los individuos cambiar su foco de atención y moverse entre tareas que tienen diferentes requisitos cognoscitivos, por tanto, se controla la información que será atendida selectivamente. Implica la capacidad de cambiar los focos de atención de un estímulo al otro.
<b>Atención dividida</b>	Involucra la habilidad para responder simultáneamente a tareas múltiples o a demandas múltiples de una tarea. La evidencia sugiere que aunque las personas tienen cierta capacidad para dividir la atención, esta capacidad es limitada. A medida que las fuentes simultáneas de información aumentan y los requerimientos de la tarea son demandantes, la ejecución se deteriora. La calidad de la ejecución en tareas múltiples y simultáneas depende de qué tan automáticas son las tareas.

---

### 1.2.1.2. Neurofisiología de la atención

Las bases neurofisiológicas de la atención involucran a una amplia red neuronal con interacción de estructuras subcorticales y corticales. Para describir las bases neurofisiológicas y estructuras neuroanatómicas involucradas en la atención en relación con los tipos clínicos descritos en el apartado anterior, se tomará como punto de partida el modelo propuesto por Posner y Petersen (1990). Este modelo propone la existencia de redes neuronales atencionales implicadas en tres funciones básicas: la orientación hacia los estímulos, la detección de objetivos y el mantenimiento del estado de alerta que forman parte de un complejo circuito neuronal cortico-estriado-talámico que se conocen como red posterior, red anterior y red de vigilancia, respectivamente. Los componentes de cada una de estas redes realizan una serie de operaciones concretas, especificadas claramente por los autores, y que interactúan de forma recíproca.

La red posterior o de orientación regula la dirección y el objetivo de la atención en clara relación con la percepción (la mayor parte de los datos existentes se vinculan con la atención visual). La orientación hace referencia a la capacidad de localizar estímulos sensoriales, explorar la información del entorno o algún contenido de la memoria para ser selectivos con la información prioritaria; la orientación puede ser provocada por un estímulo exógeno o deberse a un plan interno de búsqueda generado por el individuo (endógena). Esta red está formada por la corteza parietal posterior (implicada en la atención de desplazamiento entre hemisferios visuales), los núcleos pulvinar (involucrados en la supresión de los estímulos ruido o irrelevantes), los núcleos reticulares (facilita el desplazamiento de la atención visual y la orientación del organismo hacia los objetos de interés) y parte de los colículos superiores del mesencéfalo. Existe abundante evidencia sobre la participación de los campos oculares frontales en conjunto con la región parietal superior e inferior como los nodos corticales en la red de orientación (Posner et al., 2006). Por tanto, de este sistema atencional dependería la integridad de la “atención selectiva espacial”. La literatura cognoscitiva ha sugerido que entre los 9 y 12 años, los mecanismos de atención selectiva se encuentran relativamente maduros aun cuando los mecanismos de respuesta inhibitoria se encuentren en desarrollo (Booth, 2003).

Por su parte, la red anterior está formada anatómicamente por áreas de la corteza prefrontal medial, incluyendo la parte anterior del cíngulo, los ganglios basales y el área motora suplementaria superior. Esta red es considerada como una red de atención ejecutiva debido a que regula la actividad de otras redes neuronales involucradas en el procesamiento de emociones y pensamientos, especialmente la porción anterior del cíngulo se ha implicado en la selección y focalización de objetivos entre estímulos competidores, sobretodo ante tareas que requieren detectar estímulos visuales que han de ser discriminados a partir de su color, forma, movimiento o significado (Posner, 1996). Varios estudios han mostrado que el cíngulo anterior está conectado anatómicamente tanto con el área parietal posterior como con las áreas anteriores que se activan durante las tareas que implican al lenguaje. Asimismo, esta red muestra un fuerte desarrollo en la infancia y su maduración está relacionada a lo que en psicología del desarrollo se ha llamado autoregulación (Posner, 2006).

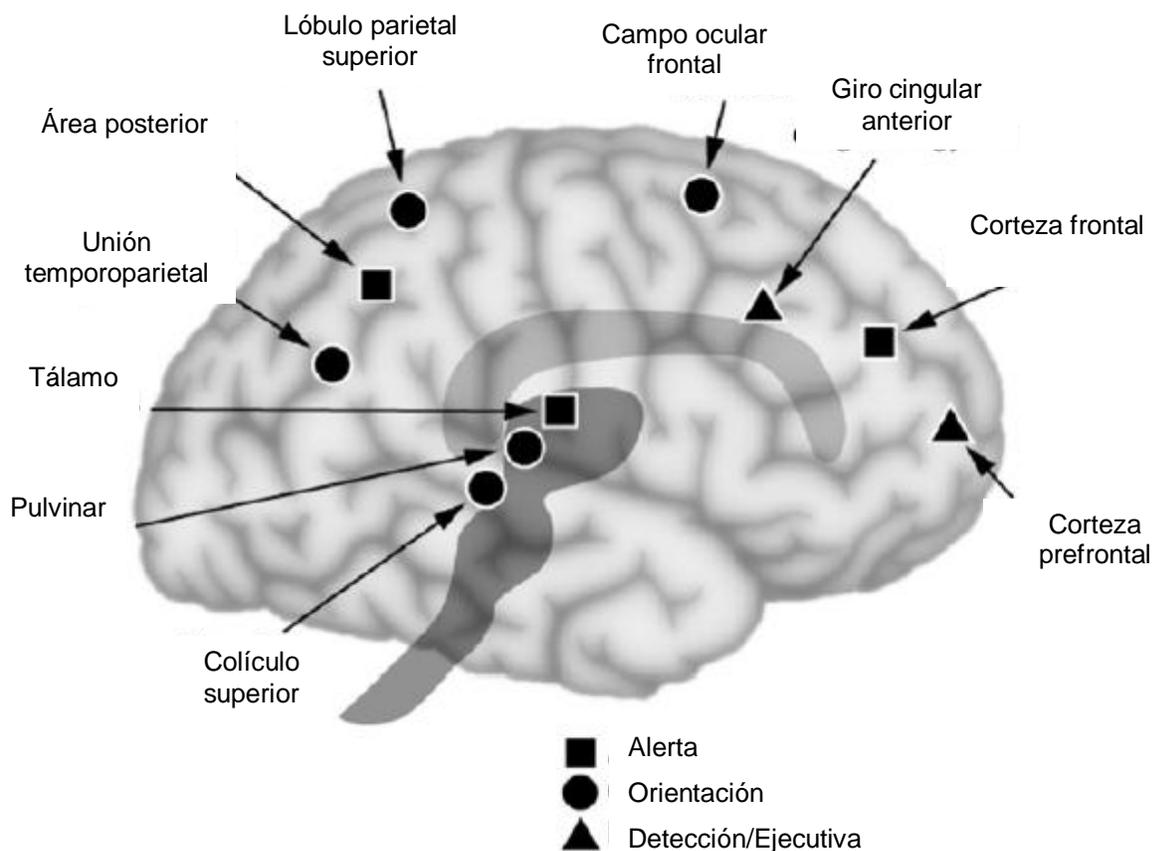
Por último, la red atencional de alerta y vigilia está formada por las proyecciones noradrenérgicas a la corteza cerebral procedentes del *locus coeruleus*. Se sabe que la red atencional de vigilia y alerta está formada por las proyecciones noradrenérgicas provenientes del núcleo *locus coeruleus* (LC), las células de dicha estructura tal como señalan Bouret (2005) y Aston-Jones et al. (1999), presentan dos formas principales de procesamiento: una en relación al sostenimiento atencional vinculado con el nivel tónico de alerta sobre intervalos de tiempo prolongados y otra ante cambios fásicos inducidos por una señal. Tradicionalmente, se ha planteado que la principal participación del LC en la atención reside sobre el componente de vigilia. Sin embargo Aston-Jones et al. (1999), a partir de registros electrofisiológicos intracraneales en una tarea de discriminación visual en monos, sugieren que la función del LC también se encuentra estrechamente relacionada con la atención selectiva y que dicha relación obedece a una función curvilínea (U invertida). Estos autores encontraron que el desempeño de los monos era deficiente en la tarea de discriminación visual tanto en niveles bajos y altos de descarga tónica del LC, lo que podría ser interpretado como un aumento en la distracción o bien, una reducción en la atención selectiva de los sujetos que generaba un patrón inestable de la atención.

La característica notable de la proyección del LC es su amplia distribución en el cerebro, cada neurona del LC podría conectarse con miles de neuronas corticales, sin embargo la mayoría de las fibras que se proyectan rostralmente desde el LC se distribuyen a la corteza rostral, dorsal y lateral del lóbulo frontal (Clark et al., 2007). Las fibras cerulocorticales entran a las áreas prefrontales a través de los polos frontales y luego se extienden dentro de la materia gris para inervar las áreas corticales adyacentes, por lo que un alto nivel de noradrenalina se encuentra concentrada en las regiones anteriores del encéfalo. Además, se ha descrito que la noradrenalina funciona en la corteza para inhibir actividad neuronal aleatoria y potenciar la respuesta a estímulos selectivos incrementando así la señal-ruido ante los estímulos sensoriales que se estén recibiendo, y por tanto, promueve un estado de alerta y orientación ante estímulos específicos (Clark et al., 2007).

Aunque la atención es una función bilateralizada, desde hace varias décadas se ha planteado que el hemisferio izquierdo ejerce preferentemente un control unilateral (contralateral) y el hemisferio derecho un control bilateral, además de regular el sistema de 'arousal' y mantener el estado de alerta (Mesulam, 1981; Posner y Driver, 1992). Asimismo se ha llegado a afirmar que la regulación principal de la atención descansa sobre el sistema frontoestriatal del hemisferio derecho, a través de vías noradrenérgicas y, en menor medida, serotoninérgicas; mientras el hemisferio izquierdo utilizaría vías dopaminérgicas y, en menor medida, colinérgicas.

De esta forma, la actividad de esta red aumenta notablemente, sobre todo en el lóbulo frontal derecho, cuando se pide a los sujetos que mantengan el estado de alerta durante el período previo a su respuesta en una prueba de tiempo de reacción o cuando deben atender a alguna fuente de señales para detectar la aparición poco frecuente de un estímulo (Posner y Petersen, 1990). Se ha observado en personas sin sospecha de alteraciones clínicas que el hemisferio derecho tiene un particular rol en la atención sostenida incluso en tiempos tan bajos como 12 segundos (Whitehead, 1991).

El estado de alerta es influenciado por eventos sensoriales y la actividad diurna, sin embargo, el mantenimiento voluntario durante el desempeño de una tarea es probablemente dirigido por la porción dorsal del cíngulo anterior. Posner (2006), por medio de técnicas de neuroimagen y electrofisiológicas mostró la estrecha conectividad entre la porción dorsal del cíngulo, la corteza prefrontal lateral ventral (AB 6 y 10), el giro parietal superior (AB 7) y la unión tempo-parietal (AB 22). El análisis de conectividad funcional, mostró una regulación bidireccional entre la porción dorsal del cíngulo anterior y las porciones corticales posteriores (parietales y temporoparietales) así como la influencia directa del cíngulo anterior sobre la porción prefrontal. A manera de resumen, en la figura 2 se muestra un esquema con las estructuras neuroanatómicas involucradas en las tres redes atencionales antes descritas.



**Fig. 2.** Esquema que ilustra las áreas corticales y subcorticales involucradas en las tres redes atencionales. La red de vigilancia y alerta (cuadrados) incluye regiones talámicas y corticales relacionadas con el sistema noradrenérgico. La red de orientación (círculos) se sitúa principalmente en la región parietal y la red de detección (triángulos) involucra a las áreas frontales y del cíngulo anterior. Tomado de Posner et al. (2006).

### 1.2.2. Atención y EEG

Klimesch (2001) refiere que la potencia de alfa en estado de reposo puede reflejar la capacidad de una persona para construir un “filtro” eficiente de información; además, señala que la desincronización de las oscilaciones del EEG en la banda alfa (particularmente la banda de baja frecuencia 8-10 Hz) puede reflejar la eficiencia de procesos atencionales selectivos y sostenidos. En este sentido, el autor hace una distinción entre cambios EEG “tónicos” y “fásicos” en la potencia de la banda alfa, de manera que asume que la potencia tónica representa la “actividad de fondo” y la potencia fásica es aquella relacionada con el procesamiento de un evento. Los cambios tónicos se producen durante todo el ciclo de la vida de manera continua y lenta en respuesta al ritmo circadiano, fatiga, estrés, trastornos neurológicos, etc., mientras que los cambios fásicos, se producen preferentemente a un ritmo mucho más rápido y probablemente modificado por procesos voluntarios (Klimesch, 1999; Klimesch et al., 2001). En función de esta división, se ha planteado que los sujetos con mayor potencia tónica en la banda alfa de baja frecuencia presentan un menor sostenimiento atencional, entendido como una menor capacidad en la inhibición de estímulos ambientales irrelevantes (Klimesch et al., 2001; Crawford et al., 1995).

En este sentido, la atención selectiva se refiere a la capacidad para procesar un estímulo específico e ignorar otros, potencialmente distractores. Responder y atender adecuadamente en una tarea o situación, no sólo involucra mecanismos atencionales específicos al estímulo blanco, sino también de mecanismos de inhibición de respuestas inadecuadas (Booth et al., 2003). La inhibición puede facilitar la atención por medio de la supresión de los estímulos distractores. De acuerdo con Knyazev (2007) parece que las oscilaciones alfa (junto con beta) desempeñan un papel especial en el mantenimiento de la atención hacia los estímulos ambientales. Asimismo, en el estudio de Laufs y colaboradores (2003), con registro simultáneo de IRMf y EEG en sujetos en estado de reposo con los ojos cerrados se encontró una fuerte correlación negativa entre la potencia de la banda alfa (en el rango de 7-10 Hz) y la actividad de la corteza frontal lateral y parietal, regiones involucradas directamente con procesos atencionales; a su vez, la potencia del rango beta de 17 a 23 Hz se correlacionó positivamente con la

actividad de la región retrosplenial, temporo-parietal y prefrontal dorsomedial. Los autores comentan que estos patrones de correlación de la actividad hemodinámica con las diferentes bandas de potencia EEG, se sobreponen fuertemente con aquellos patrones de conectividad funcional, por lo que estos resultados indican que durante la vigilia en reposo, y por lo tanto en ausencia de alguna tarea, estas zonas constituyen redes funcionales particulares y dinámicas cuya actividad se asocia con patrones eléctricos específicos.

Por su parte, las ondas EEG de la banda beta (13- 30 Hz), comúnmente se asocian con la activación cortical más pronunciada durante el estado de vigilia y sueño MOR, así como con actividad motora (Nofzinger et al., 2000). Sin embargo, algunos estudios reportan la participación de la frecuencia beta en paradigmas atencionales en humanos (Kaminsky et al., 2012; Wróbel, 2000 ) y en animales (Buschman y Miller, 2007; 2009). Las excepciones al respecto sólo competen a las observaciones relacionadas con el TDAH y la literatura del biofeedback (por ejemplo, Loo y Barkley, 2005).

Kaminsky et al. (2012), recientemente han reportado que la potencia de la frecuencia beta juega un papel vital en procesos relacionados con la atención anticipatoria. Los autores encontraron una correlación negativa entre la potencia de cada sub-banda beta y el tiempo de reacción ante un estímulo visual, de manera que los participantes con menores tiempos de reacción fueron los que presentaron una mayor potencia de beta, especialmente en la región parietal, la cual se ha asociado con procesos atencionales en diversos estudios neuropsicológicos y de IRMf. Por tanto, Kaminsky y colaboradores sugieren que la banda beta refleja un estado activo de vigilia que sirve como un mecanismo de preparación y/o excitación atencional entre diversas áreas corticales (ver también, Gola et al., 2012).

Asimismo, un número reciente de investigaciones han observado y asociado la frecuencia beta con procesos atencionales “bottom-up” (subcorticales-corteza) y “top-down” (corteza- subcorticales) (Wróbel, 2000; Buschman y Miller, 2007; 2009). En estos estudios se ha mostrado que la amplitud del espectro de frecuencia beta registrada en

la región occipital disminuye al incrementar la atención visual y se ha sugerido que aquellas actividades que demandan de un fuerte componente endógeno de atención, por ejemplo, se encuentran asociadas con un incremento en la actividad de la frecuencia beta (Engel y Fries, 2010). Al respecto, el estudio de Buschman y Miller (2007), ponen de manifiesto la posible relación entre la banda de frecuencia beta y el procesamiento descendente “top-down” de la atención por medio de un análisis de coherencia entre la región frontal y parietal. Los autores entrenaron a un grupo de simios para detectar un estímulo entre un número de distractores similares en función del grado de saliencia (una condición de “búsqueda” con menor saliencia y otra “pop out” con mayor saliencia). Durante la condición de “búsqueda” el análisis de coherencia reveló que las interacciones entre la corteza frontal y parietal ocurrían predominantemente en el rango de frecuencia beta, es decir, en la condición que involucraba un mayor componente de esfuerzo endógeno durante el procesamiento; por el contrario, en la condición “pop- out” el acoplamiento fue mucho mayor en el rango de frecuencia gamma, es decir, en la condición en la que predominaba la saliencia del estímulo (en las propiedades sensoriales). A partir de éstos resultados, los autores sugieren que el procesamiento atencional que requiere de un fuerte componente endógeno (un esfuerzo volitivo que involucra expectativas intrínsecas o metas orientadas de un organismo) se asocia con una comunicación entre regiones distantes en el rango de frecuencias bajas como el ritmo beta.

Por otra parte, una de las estructuras que parece jugar un papel central en el control ascendente y descendente del procesamiento atencional visual es el complejo postero lateral y pulvinar del tálamo (PL-P) dentro de la vía cortico-geniculada. Estas estructuras reciben las proyecciones descendentes de las neuronas piramidales de la capa V de la corteza visual y envían fibras de retroinformación de regreso hacia las áreas visuales primarias y terciarias. Se cree que la intercomunicación entre los diferentes niveles del procesamiento visual (alto vs. básico), especialmente de las fibras descendentes, es posible por medio de oscilaciones en la frecuencia beta; por tanto, el PL-P parece ser un centro de modulación de la actividad que favorece la integración de estímulos salientes hacia centros visuales de alto orden y que al mismo tiempo, es

controlado por dichos centros para regular el proceso volitivo de la atención por medio de señales en la banda de frecuencia beta (Wróbel, 2000).

### 1.2.3. Memoria de trabajo

En términos generales, las funciones ejecutivas (FE) abarcan los procesos cognoscitivos que subyacen al comportamiento dirigido a metas, como la memoria de trabajo, el control inhibitorio, planeación y flexibilidad, que clásicamente se han atribuido a la actividad de la corteza prefrontal (Best y Miller, 2010). Empleando una concepción de redes neurales, diversos investigadores han sugerido que la corteza prefrontal (CP) es útil para el adecuado funcionamiento ejecutivo, ya sea activando o inhibiendo a estructuras corticales y subcorticales. Al igual que el desarrollo general del cerebro, la CP involucra cambios progresivos (v.gr. proliferación neuronal, sinaptogénesis y mielinización) como regresivos (muerte celular, poda sináptica). Estos cambios progresivos y regresivos ocurren concurrentemente, impulsados en parte, por las experiencias de los niños, las cuales generan una red neural eficiente que soporte el desarrollo de las funciones ejecutivas.

La memoria de trabajo describe un modelo cognoscitivo que permite transitar (en unos pocos segundos) del almacenamiento al empleo de la información. El modelo más prominente de memoria de trabajo asume la existencia de sub-sistemas de almacenamiento, procesamiento y mecanismos independientes en función de la modalidad de la información (Baddeley y Hitch, 1974). Por tanto, se ha propuesto que la memoria de trabajo puede ser concebida como un sistema con múltiples componentes guiado por un componente ejecutivo que coordina las operaciones mentales que se pueden ejecutar con la información almacenada a largo plazo, controla la atención (dirección, mantenimiento y cambio de foco), tiene la capacidad de actualizar y mantener la información así como de codificar o mantener la información cuando se saturan los subsistemas esclavos.

Los componentes subordinados proporcionan almacenes de memoria de capacidad limitada que permiten la representación y mantenimiento de la información.

Dos de estos subcomponentes presentan una modalidad específica, uno para información fonológica y otro para material visuoespacial de manera independiente. El tercer subcomponente, llamado buffer episódico, permite la integración de información en representaciones multimodales complejas que representan una interfaz para la memoria a largo plazo y la memoria de trabajo (Repovs y Baddeley, 2006). Por su parte, Petrides et al. (1993), han reportado que las áreas 46 y 8, correspondientes al giro medial dorsolateral frontal de ambos hemisferios se encuentra relacionado con procesos relacionados con la memoria de trabajo verbal.

En cuanto a la actividad eléctrica, consistentemente se ha reportado que la frecuencia theta desempeña un papel muy importante en la funciones de la memoria de trabajo (Jausovec y Jausovec, 2012; Sauseng et al., 2010; Schack et al., 2005). Sin embargo, también se ha propuesto que junto con el ritmo theta, las oscilaciones en el rango beta/gamma también pueden proporcionar un mecanismo secuencial para la codificación de items procesados en la memoria de trabajo y su recuperación en la memoria a largo plazo (Jensen y Lisman, 2005).

Los resultados de diversas investigaciones conductuales y electrofisiológicas convergen y sugieren que los mecanismos corticales y subcorticales asociados al éxito en el rendimiento en tareas que involucran a la memoria de trabajo se desarrollan durante la niñez e infancia (Wolfe y Bell, 2004). En un estudio realizado por Fernández y colaboradores (1998), en una muestra de 47 niños de 8 a 10 años al realizar una tarea de memoria de trabajo verbal con registros monopolares en un rango de frecuencia de 7.8 a 19.5 Hz, los autores encontraron que los valores bajos en la potencia comprendida en el rango de alfa en derivaciones frontales se asociaban con ejecuciones pobres y un mayor número de errores en su ejecución. Por lo cual, los autores sugieren que la actividad de 7.8 Hz es necesaria para responder de manera adecuada en tareas que demandan atención, localización espacial y discriminación de colores. Estudios de IRMf en grupos de este mismo rango de edad han demostrado una importante participación de la corteza prefrontal y parietal posterior al realizar tareas que involucran a la memoria de trabajo visuoespacial (Klinberg et al., 2002; Nelson et al., 2000).

## 2. JUSTIFICACIÓN

El estudio ontogenético de la actividad eléctrica cerebral ha demostrado cambios en la organización funcional del cerebro en distintas etapas del desarrollo. Particularmente el análisis cuantitativo de parámetros electroencefalográficos, como la distribución topografía y potencia espectral, ha resultado una herramienta eficiente para estudiar el desarrollo de la organización cerebral, así como su relación con el desempeño cognoscitivo de los individuos. Por ejemplo, en los últimos años se ha referido que la madurez cognoscitiva y funcional general del cerebro se caracteriza por un incremento en la potencia relativa y frecuencia de la actividad alfa y beta, con un decremento de la actividad theta y delta (Banaschewski et al., 2007; Benninger, 1984; Clarke, 2001; Somsen et al., 1997). De forma que el ritmo alfa es la actividad electroencefalográfica dominante en adultos durante condiciones de vigilia y reposo con ojos cerrados, lo cual se ha considerado como un parámetro de referencia cortical vinculado a procesos perceptuales, atentos y mnésicos (Klimesch, 2001; Sokolova, 2006).

Existen trabajos que exploran medidas espectrales del electroencefalograma durante la realización de algún tipo de actividad cognoscitiva. Sin embargo, debido a la diversidad de tareas implementadas, a variaciones en la instrumentación y diferencias en las condiciones de registro, los hallazgos han sido poco consistentes e incluso contradictorios. Por otra parte, la mayoría de los estudios se concentran en el análisis de promedios de frecuencias, dejando a un lado las variaciones topográficas registradas en la amplitud y frecuencias de éstos ritmos, mientras que la población preferente en estos estudios es adulta o bien, en edades tempranas del desarrollo pero con la presencia de alguna característica clínica, como es el caso del trastorno por déficit de atención, dislexia o dificultades en el aprendizaje.

Considerando los aspectos anteriores, el presente estudio tiene como objetivo analizar en niños normales la relación entre medidas espectrales y topográficas del electroencefalograma y el desempeño derivado de la evaluación con pruebas neuropsicológicas. Especialmente, el estudio considera el análisis de funciones

ejecutivas básicas como la atención y memoria de trabajo, debido a su relevancia para el desarrollo posterior de otros procesos cognoscitivos como la memoria, solución de problemas y las habilidades académicas y, considerando adicionalmente, que la disfunción de estos procesos se ha vinculado directamente con la presencia de trastornos en la infancia de alta prevalencia como el trastorno por déficit de atención y trastornos de aprendizaje.

### **3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

#### **3.1. Objetivo general**

Analizar la relación entre la potencia absoluta de la frecuencia alfa y beta en condiciones de reposo con el desempeño en actividades atencionales y de funcionamiento ejecutivo en una muestra de 20 niños escolares mexicanos con edad entre los 9 y 10 años, físicamente sanos y sin antecedentes de alteraciones neurológicas o bajo desempeño escolar.

#### **3.2. Objetivos específicos**

1. Identificar los valores de la potencia absoluta de los ritmos alfa y beta en condiciones de reposo en una muestra de 20 niños escolares de 9 a 10 años de edad, físicamente sanos y sin antecedentes de alteraciones neurológicas o de bajo desempeño escolar.
2. Obtener el perfil neuropsicológico general de la muestra de estudio a través de la prueba neuropsicológica NEUROPSI Atención y Memoria (Ostrosky-Solís et al., 1999).
3. Determinar el coeficiente de correlación entre el puntaje global de Atención-Funciones Ejecutivas de la prueba NEUROPSI Atención y Memoria y la potencia absoluta de los ritmos alfa y beta en derivaciones frontales, centrales, temporales, parietales y occipitales de la muestra de estudio.

4. Analizar el coeficiente de correlación entre el desempeño en la tarea de detección visual de la prueba NEUROPSI Atención y Memoria y la potencia absoluta de los ritmos alfa y beta en derivaciones frontales, centrales, temporales, parietales y occipitales de la muestra de estudio.
5. Determinar el coeficiente de correlación entre el desempeño en la tarea de detección de dígitos de la prueba NEUROPSI Atención y Memoria y la potencia absoluta de los ritmos alfa y beta en derivaciones frontales, centrales, temporales, parietales y occipitales de la muestra de estudio.
6. Identificar el coeficiente de correlación entre el desempeño en la tarea de series sucesivas de la prueba NEUROPSI Atención y Memoria y la potencia absoluta de los ritmos alfa y beta en derivaciones frontales, centrales, temporales, parietales y occipitales de la muestra de estudio.
7. Determinar el coeficiente de correlación entre el desempeño en la tarea de dígitos en regresión de la prueba NEUROPSI Atención y Memoria y la potencia absoluta de los ritmos alfa y beta en derivaciones frontales, centrales, temporales, parietales y occipitales de la muestra de estudio.
8. Describir el coeficiente de correlación entre el desempeño en la tarea de cubos en regresión de la prueba NEUROPSI Atención y Memoria y la potencia absoluta de los ritmos alfa y beta en derivaciones frontales, centrales, temporales, parietales y occipitales de la muestra de estudio.

### 3.3. Hipótesis nula

$H_0$ : No existe una correlación estadística entre la potencia absoluta de los ritmos electroencefalográficos alfa y beta en condiciones de reposo con el desempeño en actividades atencionales y de funcionamiento ejecutivo en una muestra de niños escolares de 9 y 10 años de edad, físicamente sanos y sin antecedentes de alteraciones neurológicas o de bajo desempeño escolar.

## 4. MÉTODO

### 4.1. Diseño de estudio

Se trata de un estudio descriptivo y correlacional con diseño transversal y doble ciego, en una muestra discreta no probabilista e intencional de sujetos sanos el cual tiene el fin de describir las posibles relaciones entre las variables de estudio.

### 4.2. Muestra de estudio

La selección de la muestra fue no probabilista intencional con participantes provenientes de escuelas primarias públicas y población general, con participación voluntaria y bajo consentimiento informado (ver apartado 4.8.).

La muestra de estudio estuvo conformada por 20 niños (10 niños y 10 niñas) con nivel de escolaridad correspondiente al nivel básico (primaria), con edades comprendidas entre los 9 y 10 años, con adecuado desempeño escolar y sin antecedentes de alteraciones neurobiológicas, psiquiátricas o de trastornos del desarrollo.

La inclusión de los participantes del estudio se realizó de acuerdo a los criterios de selección, con base en una entrevista de desarrollo estructurada realizada a los padres o tutores de los menores. En dicha entrevista se ahondó sobre los antecedentes prenatales, perinatales y neonatales, el rendimiento académico, desarrollo psicomotor y desarrollo del lenguaje, así como antecedentes de enfermedades del SNC. En caso de sospecha de alguna alteración neurológica se realizó una historia clínica completa por un neurólogo especialista adscrito al Instituto Nacional de Rehabilitación (INR) de la Secretaría de Salud, México.

### 4.3. Criterios de selección

#### 4.3.1. *Criterios de inclusión:*

- Niños (as) con edad entre 9 y 10 años al momento de la evaluación.
- Con estudios de nivel básico correspondiente a primaria.
- Con adecuado desempeño escolar (promedio escolar mayor o igual a 8 sobre un máximo de 10)
- Contar con entrevista estructurada completa a los padres o tutores sobre el desarrollo del niño.

#### 4.3.2. *Criterios de exclusión:*

- Haber reprobado algún año escolar, tener dificultades de aprendizaje o bajo desempeño escolar (promedio escolar menor a una calificación de 8 sobre un máximo de 10).
- Presencia de antecedentes de alteraciones neurológicas en el desarrollo o psiquiátricas de acuerdo a la historia clínica.
- Presencia de limitaciones físicas que impidieran la ejecución en la prueba.
- Presencia de electromorfogramas anormales como trenes de ondas delta o theta de voltaje cuatro veces superior a la actividad de fondo, ondas agudas aisladas o en trenes.
- Consumo o tratamiento con psicofármacos al momento de la valoración.

#### 4.3.3. *Criterios de eliminación:*

- Solicitud expresa por los padres o tutores para no continuar el estudio.
- No contar con los resultados completos de las valoraciones neuropsicológicas o electrofisiológicas.

### 4.4. Instrumentos

Para la valoración cognoscitiva de los procesos atencionales y ejecutivos, se empleó la prueba neuropsicológica NEUROPSI Atención y Memoria (Ostrosky-Solís et al., 2003). Esta batería permite evaluar el funcionamiento cognoscitivo general del

participante en procesos de atención, memoria, lenguaje y funciones ejecutivas con datos normativos para edades comprendidas entre los 6 y 85 años de edad para población mexicana. La batería examina dos principales áreas a través de un conjunto de pruebas. El área de atención y funciones ejecutivas incluye: orientación (tiempo, persona y espacio), atención y concentración (dígitos y cubos en progresión, detección de dígitos, rastreo visual y series sucesivas), memoria de trabajo (dígitos y cubos en regresión) y funciones ejecutivas (formación de categorías, fluidez semántica, fonológica y no verbal, flexibilidad, inhibición y tareas de programación motora). La segunda área evalúa la memoria en la etapa de codificación (memoria verbal y no verbal, memoria lógica, pares asociados y caras) y la etapa de evocación (memoria verbal espontánea, por claves y reconocimiento, memoria no verbal, memoria lógica, pares asociados y nombre e identidad de caras).

La prueba permite obtener tres puntajes globales de ejecución, 1) Total Atención-Memoria, 2) Total Atención-Funciones Ejecutivas y 3) Total Memoria, por medio de la sumatoria de los puntajes naturales de las subpruebas que las conforman. Estas puntuaciones totales naturales se transforman en puntuaciones normalizadas por medio de las tablas de conversión, específicas para cada edad e incluidas en el manual. Los puntajes totales normalizados tienen una media de 100 y una desviación estándar de 15, lo cual permite clasificar la ejecución de cada individuo dentro de un rango normal alto (116 puntos en adelante), normal (85-115 puntos), alteraciones de leves a moderadas (70-84 puntos) o alteraciones severas (69 puntos o menos). Además, los datos naturales de las 30 subpruebas que conforman la batería se pueden graficar en un perfil normalizado, con una media de 10 y desviación estándar de 3 acorde a las especificaciones de los autores, que permite observar y clasificar de manera gráfica el desempeño (normal alto, normal, alteración leve a moderada y alteración severa) del participante en cada una de las subpruebas.

La confiabilidad test-retest es de 0.89 para el puntaje total. La confiabilidad para las subpruebas va de 0.77 a 1.0 y los coeficientes de correlación entre jueces van de 0.90 a 1.0 (Ostrosky-Solís et al., 1999).

#### 4.5. Aparatos

Electroencefalógrafo digital Nicolet One de 31 canales versión 5.1 con frecuencia de muestreo de 256 Hz. (Nicolet, Holanda), electrodos copa de oro (Nicolet, Holanda) y material estándar para registro electroencefalográfico.

#### 4.6. Procedimiento

La valoración cognoscitiva se realizó en un consultorio del servicio de electrodiagnóstico del Instituto Nacional de Rehabilitación (INR) de la Secretaría de Salud. El registro electroencefalográfico se llevó a cabo en las mismas instalaciones del instituto, dentro de una cámara de Faraday de 15 m<sup>2</sup> aproximadamente, con conexión a una tierra física, con iluminación y temperatura controladas. Adicionalmente, las instalaciones cuentan con una cama de exploración, lámpara de fotoestimulación y el equipo de electroencefalografía digital.

En un inicio se realizó la invitación formal a los padres de familia de los escolares para participar en el presente estudio, especificando los objetivos, instrumentos y procedimientos empleados. De acuerdo a los lineamientos éticos y profesionales del presente estudio (ver apartado 4.8.). A los padres de los escolares que refirieron interés en participar, se les solicitó que firmaran un formato de consentimiento informado con sus datos personales y disponibilidad de horario; atendiendo a todas las dudas y comentarios derivados del estudio. El protocolo fue previamente aprobado por los comités de Investigación y de Ética del INR con base en el acuerdo internacional de Helsinki.

El protocolo de evaluación inició con una entrevista estructurada realizada a los padres de los niños candidatos a participar en el presente estudio. La entrevista se realizó en sesiones individuales y en ella se registró información sobre el desarrollo y rendimiento académico de sus hijos (as), así como información relevante a los criterios de selección (apartado 4.3.). Los menores sin antecedentes de riesgo neurobiológico,

dificultades de aprendizaje y/o trastornos psiquiátricos fueron seleccionados para la valoración electroencefalográfica y neuropsicológica.

Posteriormente, un técnico de laboratorio, adscrito a la institución y especializado en investigación y servicios clínicos, realizó el registro EEG mediante un electroencefalógrafo digital (Nicolet One de 31 canales) de acuerdo al sistema internacional 10/20, comprobando que la impedancia de los electrodos fuera menor a 10 k $\Omega$ . Durante el registro, los niños estuvieron en posición de decúbito dorsal con los párpados cerrados, en reposo y en condiciones de baja iluminación ambiental y baja sonoridad. Se les indicó que debían mantener dicha postura sin movimientos corporales y faciales. Los montajes utilizados para el análisis fueron bipolares en derivaciones laterales (F1F7, F7T3, T3T5, T5O1 y F2F8, F8T4, T4T6, T6O2) y parasagittales (F1F3, F3C3, C3P3, P3O1 y F2F4, F4C4, C4P4, P4O2), adicionalmente se realizó el registro del electrooculograma con un electrodo en el borde paraocular de cada ojo y del electrocardiograma. El registro EEG se realizó con filtros pasabanda de 1.6 a 70 hz y para el análisis cuantitativo se empleó un ancho de banda de 2 a 30 Hz con filtro de ventana de 60 Hz.

Antes de iniciar el registro, se informó a los participantes de los requerimientos de la tarea y se realizó un breve ensayo. Posteriormente se les pidió que mantuviera los ojos cerrados por un intervalo de 5 minutos evitando mover los globos oculares. Transcurrido dicho intervalo, se les pidió a los participantes que abrieran los ojos (OA) durante 1 minuto y después los cerraran (OC) por el mismo intervalo de tiempo; esta serie de movimientos se repitió ocho veces. Adicionalmente, para la detección de electromorfogramas anormales se incluyeron maniobras de fotoestimulación de 5 Hz/s en intervalo variable (n=20) y 3 minutos de hiperventilación.

El registro electrofisiológico se realizó con dos evaluadores capacitados. El primero de ellos controló el equipo y el registro visual de la señal. El segundo evaluador, estuvo a cargo de la seguridad del niño, mientras alentaba al niño en evitar movimientos innecesarios del cuerpo, cabeza y movimientos de los ojos. Todas las señales fueron digitalizadas y almacenadas para su posterior análisis analógico y

cuantitativo. Fuera de línea, un especialista en fisiología del desarrollo, adscrito a la institución, observó todo el registro para su evaluación clínica. A partir de dicha valoración, se seleccionaron aquellos registros con ausencia de hallazgos electroencefalográficos anormales (patología cerebral, grafoelementos anormales, retraso en la maduración o desviación del desarrollo) y para cada participante se eligieron tres segmentos de 12 segundos cada uno, en la condición de OC libres de artefactos. Las muestras del EEG fueron analizadas aplicando la transformada de Fourier (TF) para obtener la potencia absoluta y relativa de las bandas de frecuencia alfa ( $\alpha$ : 8.5-13.0 Hz) y beta ( $\beta$ : 13.5-30 Hz).

Al terminar el registro electroencefalográfico se realizó a cada participante la valoración neuropsicológica de rastreo general para las siguientes funciones cognitivas: orientación, atención, memoria, lenguaje y funciones ejecutivas por medio del NEUROPSI Atención y Memoria. Con los resultados obtenidos se realizó el perfil neuropsicológico respectivo y el cálculo de los índices de atención- funciones ejecutivas, memoria y atención-memoria.

#### 4.7. Análisis de resultados

##### 4.7.1. Variables

De acuerdo a los objetivos del presente estudio se registraron las siguientes variables:

- *Potencia Absoluta (PA)*: Definida como la intensidad total de energía del potencial eléctrico registrado en una determinada región cortical (canal) para cada banda o componente de frecuencia determinada (Machado et al., 2008). La potencia absoluta se registró en microvolts cuadrados para cada frecuencia analizada ( $\alpha$ : 8.5-13.0 Hz y  $\beta$ : 13.5-30 Hz) de acuerdo al valor natural obtenido por el algoritmo matemático de la Transformada de Fourier, cuya ecuación se describe a continuación:

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-i2\pi kn/N}$$

Donde:

$x(k)$  = Densidad espectral del EEG digital

$x(n)$  = Señal de EEG digital.

N = Número de muestras

$k = 0, \dots, N-1$ .

Las variables propias al funcionamiento cognoscitivo corresponden al valor normalizado obtenido a través del instrumento neuropsicológico NEUROPSI Atención y Memoria (Ostrosky et al., 2003). Conforme a los objetivos del presente trabajo se analizaron los resultados obtenidos para las siguientes subescalas del instrumento:

- **Atención-Funciones Ejecutivas.** Las funciones ejecutivas incluyen procesos como la capacidad de planear y organizar la conducta, la inhibición de conductas inapropiadas para la realización de una tarea y el mantenimiento de un pensamiento flexible durante la resolución de problemas. El rendimiento en estos procesos se midió a partir del puntaje global obtenido en Total Atención-Funciones Ejecutivas del instrumento antes descrito.
- **Atención selectiva.** Capacidad de mantener una respuesta en un contexto de distracción o competencia estimular. La distracción puede producirse a un nivel externo (como ruidos) o interno (como las preocupaciones). El desempeño en éste proceso se midió a partir del número de aciertos obtenidos en la subprueba de detección visual.
- **Atención sostenida.** Capacidad para mantener una respuesta conductual consistente durante una actividad continua y repetida en un periodo de tiempo determinado. El sostenimiento atencional se midió con el número de aciertos en la subprueba de detección de dígitos y puntaje obtenido en la prueba de series sucesivas.
- **Memoria de trabajo.** Sistema que mantiene y manipula temporalmente la información para la realización de diversas tareas cognoscitivas. La capacidad de éste sistema se midió con el número de aciertos obtenidos en las pruebas de dígitos y cubos en regresión.

#### *4.7.2. Análisis estadístico*

Se utilizaron estadísticos de tendencia central para la descripción de datos sociodemográficos, rendimiento cognoscitivo y potencia del EEG de los participantes. Posteriormente, se realizaron pruebas de normalidad (Kolmogórov-Smirnov) y para el análisis de la relación entre variables se empleó el coeficiente de correlación por rangos de Spearman. El análisis se llevó a cabo por medio del programa SPSS, versión 19 (SPSS Inc, Chicago, IL). Los resultados se presentan como medias y errores estándar de la media (E.E.M.)

#### 4.8. Consideraciones éticas

El protocolo de investigación correspondiente al presente estudio fue aprobado por el Comité de Investigación y Ética del Instituto Nacional de Rehabilitación. En el momento en que los padres o tutores de los participantes asistieron por primera vez al Servicio de Electrodiagnóstico del Instituto Nacional de Rehabilitación, se les informó detalladamente de los procedimientos del estudio, sus objetivos, las evaluaciones a realizar, los resultados esperados y se solicitó de forma escrita a los padres o tutores de los participantes su consentimiento informado, en el cual expresaron su aceptación para participar en la investigación y que los resultados de las evaluaciones neuropsicológicas y electrofisiológicas realizadas a los participantes del estudio fueran analizados cuantitativa y cualitativamente en la presente o futuras investigaciones que se desarrollen en el INR, así como para que estos puedan ser comunicados en cualquier medio científico, conservando la confidencialidad de los datos relativos a la identidad de los participantes. Adicionalmente, se les informó que los resultados de sus evaluaciones serían integrados a sus expedientes en el instituto, los cuales de igual forma permanecerán confidenciales y en ningún momento de acceso público.

Finalmente, durante todo momento en el transcurso del estudio, cada participante recibió un trato profesional, ético y con total apego las normas institucionales de servicio y atención a pacientes.

## 5. RESULTADOS

De acuerdo a los criterios de selección (ver apartado 4.3), la muestra final estuvo conformada por 10 niños y 10 niñas con una media de edad de  $9.4 \pm 0.51$  años y 7 años de escolaridad promedio ( $6.6 \pm 0.48$  años). La tabla 3 muestra los porcentajes de distribución por género, edad y preferencia manual.

**Tabla 3.** Frecuencia y porcentajes de distribución de las características generales de los participantes.

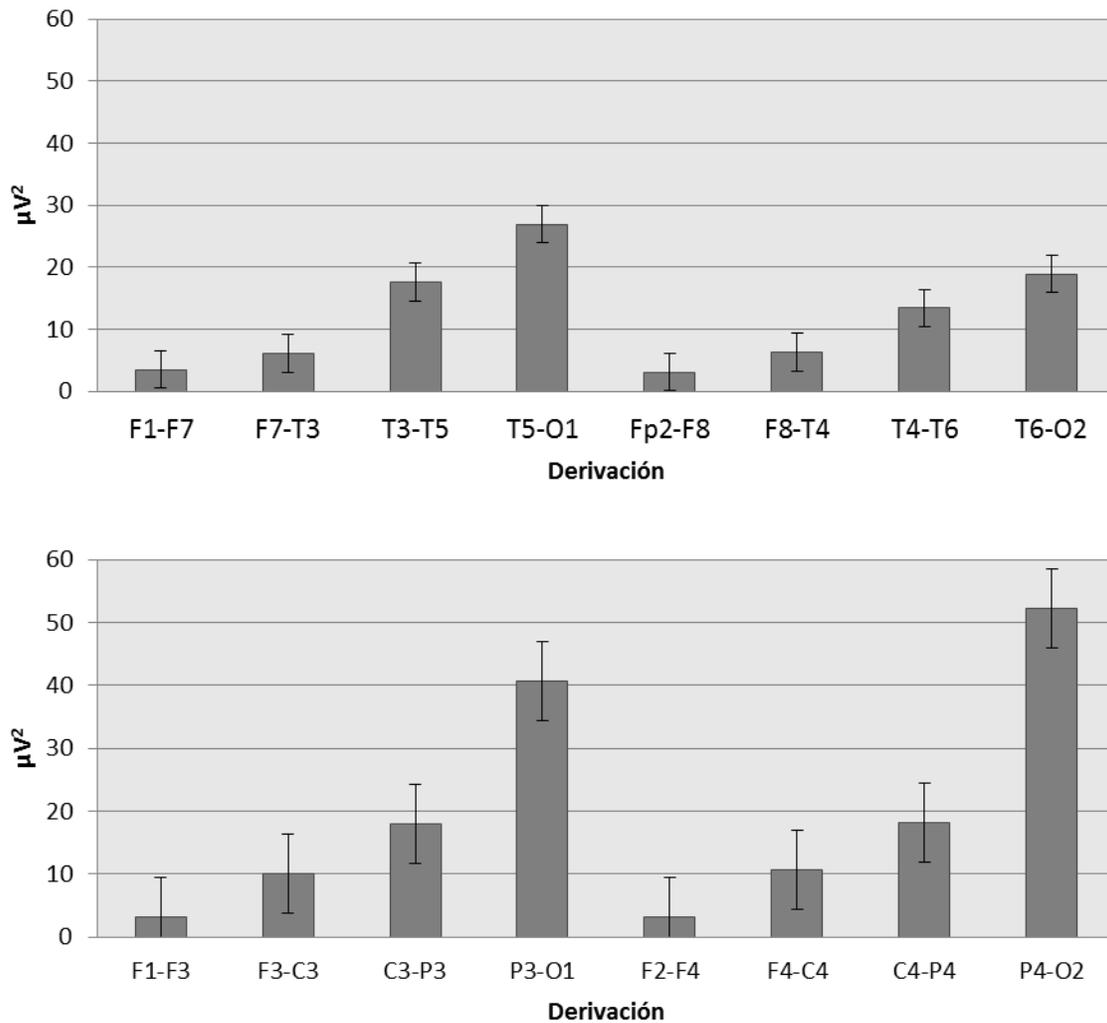
<b>Características generales de los participantes</b>			
		<b>Frecuencia</b>	<b>%</b>
<i>Edad</i>	9	11	55
	10	9	45
<i>Lateralidad</i>	Diestro	17	85
	Zurdo	3	15
<i>Género</i>	Masculino	10	50
	Femenino	10	50
<i>Escolaridad (años)</i>	6	7	30
	7	13	70
<i>Promedio escolar General</i>	8- 8.9	8	40
	9- 9.9	11	55
	10	1	5

### 5.1. Características electroencefalográficas

#### 5.1.1. Alfa

Como se muestra en la figura 3, en condiciones de reposo con ojos cerrados, tanto en las derivaciones laterales como parasagitales, se encontró un gradiente de potencia ascendente fronto-occipital en la banda de frecuencia alfa. Particularmente, las regiones parietooccipitales (P4-O2 y P3-O1) poseen la mayor potencia en el espectro de frecuencia alfa, con una media de  $52.1 \pm 11.6$  y  $40.6 \pm 9.09 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ , respectivamente, seguidas de las regiones temporooccipitales (T5-O1:  $26.9 \pm 5.9$  y T6-O2:  $18.9 \pm 3.6$

$\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ ) y finalmente las derivaciones frontales presentaron los valores más bajos (ver figura 3 y tablas 4 y 5).



**Figura 3.** Potencia absoluta de la frecuencia alfa en derivaciones laterales (arriba) y parasagitales (abajo) en el total de la muestra de niños ( $n=20$ ) en la condición de ojos cerrados (OC).

A continuación se presentan (tabla 4 y 5) los valores promedio obtenidos para la potencia en la banda alfa del total de la muestra de estudio. De forma adicional al gradiente ascendente fronto-occipital en la banda de frecuencia alfa, se puede observar que las regiones posteriores es donde se registra la mayor variabilidad en los datos a partir de la media.

**Tabla 4.** Distribución de los valores de potencia absoluta ( $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ ) de la frecuencia alfa en derivaciones laterales. E.E.M.: error estándar de la media.

<b>Potencia absoluta de la frecuencia alfa en derivaciones laterales.</b>						
	Media	E.E.M	Mediana	Mínimo	Máximo	Rango Intercuartil
F1-F7	3.51	0.45	2.67	1.14	8.54	1.9 a 5.2
F7-T3	6.08	1.66	3.50	1.21	32.43	2.3 a 5.3
T3-T5	17.65	6.07	7.45	1.50	123.51	4.4 a 22.6
T5-O1	26.96	5.98	15.87	1.93	92.23	8.5 a 36.5
F2-F8	3.10	0.34	2.52	1.31	6.36	1.8 a 4.5
F8-T4	6.32	1.31	4.42	1.37	23.91	2.7 a 6.4
T4-T6	13.40	2.22	10.63	4.87	45.08	6.2 a 16.0
T6-O2	18.93	3.62	12.14	7.77	71.53	9.1 a 21.1

**Tabla 5.** Distribución de los valores de potencia absoluta ( $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ ) de la frecuencia alfa en derivaciones parasagitales. E.E.M.: error estándar de la media.

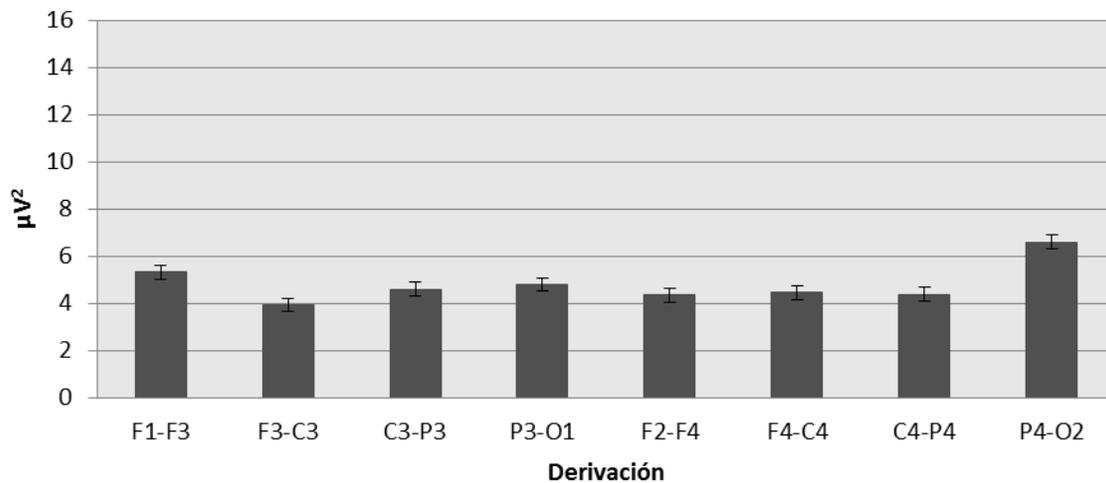
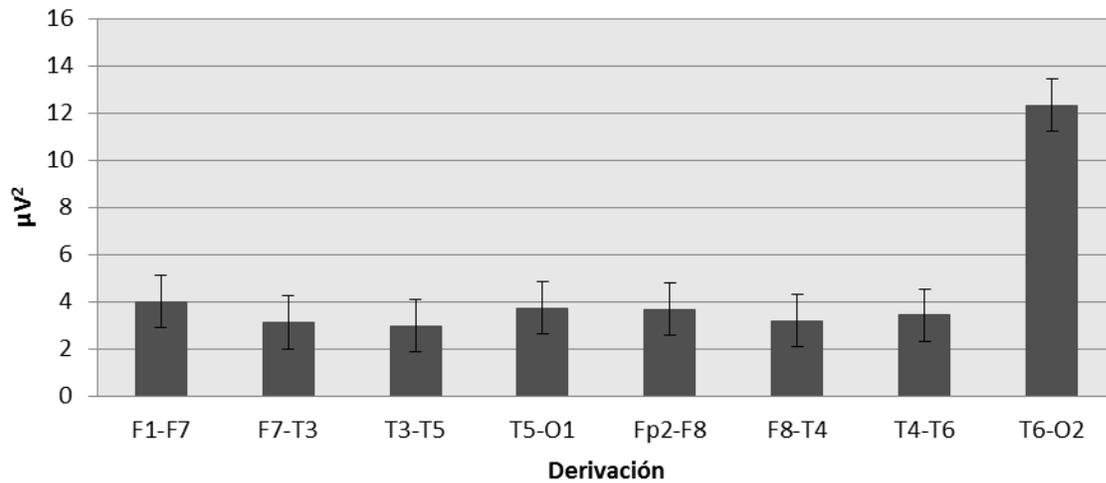
<b>Potencia absoluta de la frecuencia alfa en derivaciones parasagitales.</b>						
	Media	E.E.M.	Mediana	Mínimo	Máximo	Rango Intercuartil
F1-F3	3.15	0.70	2.72	0.94	6.49	2.2 a 4.3
F3-C3	10.13	2.27	5.68	1.32	66.95	4.4 a 8.7
C3-P3	17.92	4.01	11.42	3.48	60.67	5.0 a 25.5
P3-O1	40.63	9.09	36.06	8.01	182.08	11.3 a 44.6
F2-F4	3.18	0.71	2.99	1.11	8.31	2.0 a 3.7
F4-C4	10.72	2.49	11.33	1.66	19.73	5.4 a 15.8
C4-P4	18.27	4.09	11.61	2.66	79.48	6.1 a 21.7
P4-O2	52.15	11.67	50.04	6.57	155.26	12.8 a 73.2

Por otra parte, el valor de las medianas de PA en las derivaciones frontales son próximas a  $3 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ , por tanto el 50% de los niños de la muestra presenta un voltaje inferior a  $3 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$  en regiones fronto-frontales, mientras que el 50% restante se encuentra entre 3 a  $9 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$  aproximadamente. En regiones frontotemporales, la potencia absoluta del 50% de la muestra se concentró en el rango de  $4 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$  a  $32 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$  aproximadamente.

Debido a que en las regiones temporales, parietales y occipitales existe un mayor grado de dispersión de los datos en torno a la media, se presenta adicionalmente el rango intercuartil como medida de dispersión estadística. Tal como se muestra en la tabla 4, el 50% de los valores de la potencia absoluta de alfa en las derivaciones temporales bilaterales no rebasaron los  $23 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ , mientras que en la región temporooccipital izquierda el intervalo en los valores de la potencia absoluta que abarca el 50% del total de los datos estuvo comprendido entre 8.5 a  $36.5 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ ; en la región temporooccipital derecha el intervalo fue de 9.1 a  $21.1 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ . Por su parte, el intervalo en el que se encontraron el 50% de los valores más frecuentes en la derivación parietoccipital izquierda fue de 11.3 a  $44.6 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$  y de 12.8 a  $73.2 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$  en la región homóloga (ver tabla 5).

#### 5.1.2. Beta

En el caso de la frecuencia beta, la región con la media de potencia absoluta más alta se registró en la derivación temporooccipital del hemisferio derecho con  $12.32 \pm 0.47 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$  seguida de la región parietoccipital del mismo hemisferio (P4-02:  $6.21 \pm 1.39$ ; ver Tablas 6 y 7; Figura 4). Por el contrario, en el hemisferio izquierdo (T3-T5) se registró el valor más bajo de potencia absoluta en esta frecuencia con  $2.97 \pm 0.30 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ . La media de potencia absoluta en las regiones frontotemporales y temporales bilaterales fue cercana a  $3 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$  y aproximadamente de  $4 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$  en regiones frontocentrales y temporooccipital del hemisferio izquierdo (Ver Tablas 6 y 7).



**Figura 4.** Potencia absoluta de la frecuencia beta en derivaciones laterales (arriba) y parasagitales (abajo) en el total de la muestra de niños (n= 20) en la condición de ojos cerrados (OC).

Al igual que en el caso de la frecuencia alfa, en las tablas 6 y 7 se presentan los valores promedio obtenidos para la potencia absoluta de beta del total de la muestra de estudio.

**Tabla 6.** Distribución de los valores de potencia absoluta ( $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ ) de la frecuencia beta en derivaciones laterales. E.E.M.: error estándar de la media.

<b>Potencia absoluta de la frecuencia beta en derivaciones laterales</b>						
	Media	E.E.M	Mediana	Mínimo	Máximo	Rango Intercuartil
F1-F7	4.00	0.76	3.33	1.30	16.69	2.1 a 4.3
F7-T3	3.11	0.35	2.70	0.99	6.06	2.2 a 4.6
T3-T5	2.97	0.30	2.83	1.02	6.20	2.1 a 3.3
T5-O1	3.72	0.53	3.17	1.40	9.63	1.9 a 4.3
F2-F8	3.68	0.67	3.06	15.04	14.11	2.1 a 4.1
F8-T4	3.19	0.50	2.22	0.97	9.93	1.6 a 4.6
T4-T6	3.43	0.59	2.59	0.98	13.26	2.3 a 3.8
T6-O2	12.32	0.47	11.80	9.63	18.54	10.9 a 13.4

**Tabla 7.** Distribución de los valores de potencia absoluta ( $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ ) de la frecuencia beta en derivaciones parasagitales. E.E.M.: error estándar de la media.

<b>Potencia absoluta de la frecuencia beta en derivaciones parasagitales</b>						
	Media	E.E.M	Mediana	Mínimo	Máximo	Rango Intercuartil
F1-F3	5.31	1.19	3.54	1.25	21.52	2.1 a 5.0
F3-C3	3.96	0.89	3.00	1.25	13.50	1.7 a 4.1
C3-P3	4.31	0.96	2.60	1.26	18.08	1.9 a 3.8
P3-O1	4.86	1.09	4.57	1.55	10.66	2.4 a 6.0
F2-F4	5.04	1.13	2.79	1.59	21.91	2.0 a 5.6
F4-C4	4.56	1.02	3.28	1.41	15.00	2.2 a 4.6
C4-P4	3.80	0.85	3.39	1.14	7.59	1.9 a 5.8
P4-O2	6.21	1.39	4.21	1.24	18.52	2.8 a 7.7

Por otra parte, las medianas en las derivaciones frontales laterales fueron cercanas a 3, de manera que el 50% de los niños de la muestra presentó un voltaje inferior a  $3 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$  en dichas regiones mientras que en las derivaciones frontales parasagitales el 50% de las potencias registradas en condiciones de reposo con los ojos cerrados fue próxima a  $4 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ . En lo que respecta a la región parietoccipital izquierda, el intervalo de potencias absolutas que abarcaron el 50% del total de los

datos estuvo comprendido entre 2.4 a 6.0  $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$  y de 2.8 a 7.7  $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$  en la región parietoccipital derecha como se muestra en la Tabla 7.

## 5.2. Rendimiento cognoscitivo general

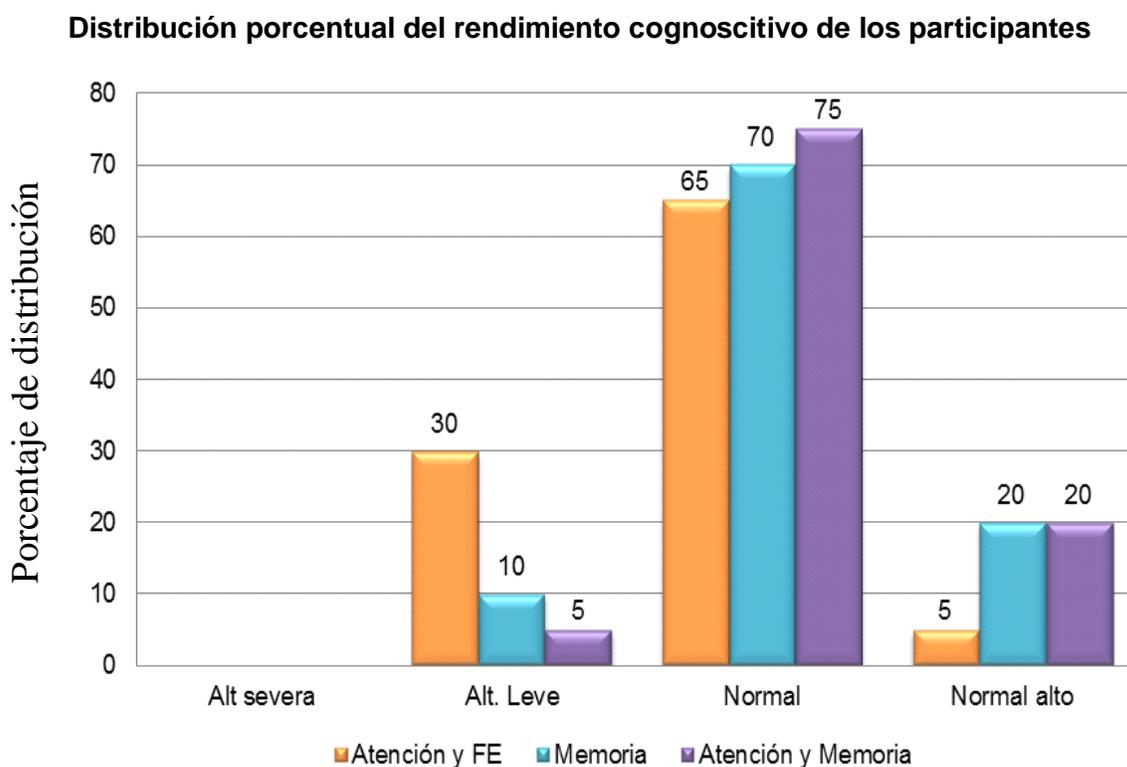
Con el objetivo de medir el funcionamiento cognoscitivo general de los participantes en los procesos de atención, memoria, lenguaje y funciones ejecutivas, se aplicó a cada uno de ellos la batería neuropsicológica NEUROPSI Atención y Memoria (Ostrosky et al., 2003). Los datos naturales obtenidos de las 30 subpruebas que integra el instrumento fueron transformados a sus puntuaciones normalizadas, de acuerdo a los parámetros de normalización de la prueba para el rango de edad de la muestra. Los parámetros de normalización permiten clasificar el desempeño cognoscitivo en las categorías normal alto, normal, alteración leve a moderada y alteración severa, ello tanto para las puntuaciones totales como para las diversas subpruebas.

De acuerdo a los resultados normalizados, el puntaje promedio de los índices globales para las áreas de Atención y funciones ejecutivas, Memoria y Atención y Memoria (ver tabla 8), así como los puntajes promedio obtenidos para cada una de las distintas subpruebas que conforman el instrumento (ver figura 6), se ubicaron dentro de la media de ejecución normal para la edad de la muestra. Por otra parte, a partir de los puntajes individuales, se calculó el porcentaje de niños que mostraron un rendimiento normal alto, normal y con alteraciones leve a moderadas en cada uno de los tres índices globales: Atención y funciones ejecutivas, Memoria y Atención y memoria. Acorde con lo anterior, en el área de Atención-funciones ejecutivas, el 70% de los participantes tuvo un rendimiento entre normal (85 a 115) y normal alto (116 en adelante), el 30% se clasificó con alteraciones de leves a moderadas (70 a 84). En el área de Memoria, el 90% obtuvo un desempeño normal a normal alto y 10% con alteraciones de leves a moderadas y en el índice de Atención-memoria 95% obtuvo un rendimiento normal a normal alto (ver figura 5).

**Tabla 8.** Puntaje promedio de los índices globales normalizados para las áreas de Atención y funciones ejecutivas, Memoria y Atención y memoria.

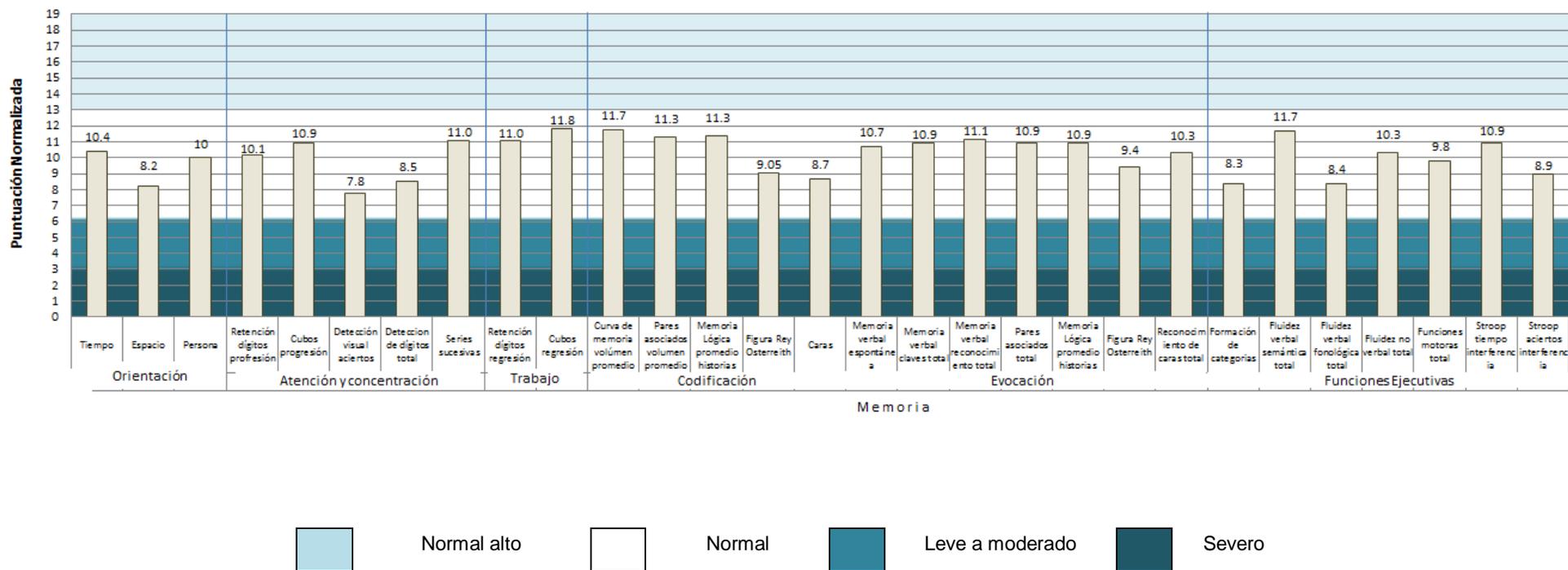
<b>Puntajes globales de ejecución en Neuropsi Atención y Memoria*</b>						
	<i>Atención y Funciones Ejecutivas</i>		<i>Memoria</i>		<i>Atención y Memoria</i>	
Media	93.2		102.8		100.3	
D.E.M.	14.7	Normal	14.0	Normal	14.0	Normal
Mediana	91		103		99	

\*Las puntuaciones normalizadas tiene una media de 100 y una desviación estándar de la media (D.E.M.) de 15 acorde a los valores técnicos del instrumento NEUROPSI Atención y Memoria.



**Figura 5.** Porcentajes de distribución de los participantes (n=20) de acuerdo a su nivel de ejecución (alteración severa, alteración leve a moderada, normal y normal alto) en las áreas de Atención-funciones ejecutivas, Memoria y Atención y memoria.

**Puntuaciones promedio en el perfil general del rendimiento cognoscitivo de los participantes.**



**Figura 6.** Puntuaciones normalizadas obtenidas por la muestra de estudio (n=20) en las 29 subpruebas del perfil del instrumento NEUROPSI Atención y Memoria. El perfil de ejecución Normal tiene un rango de 7 a 13 puntos, con una media y desviación estándar de la media de  $10.0 \pm 3.0$ .

### 5.2.1. Rendimiento cognoscitivo por proceso

A continuación se describe el desempeño y las puntuaciones normalizadas obtenidas por los participantes del estudio en cada una de las subpruebas del NEUROPSI Atención y Memoria conforme a las áreas valoradas. En cada apartado se presenta el número (frecuencia) de niños que mostraron un rendimiento normal alto, normal, con alteraciones leve a moderadas y alteraciones severas.

#### 5.2.1.1. Orientación

Los participantes mostraron en promedio un adecuado nivel de alerta y activación cortical. En particular, tal como se muestra en la tabla 9, más del 75% de los participantes se encontraban orientados en tiempo, espacio y persona, de forma que lograron referir adecuadamente sus datos personales, así como el día, lugar y fecha de evaluación. Sin embargo, 5 participantes fueron incapaces de referir correctamente su domicilio particular (ver tabla 9).

**Tabla 9.** Distribución de los participantes de acuerdo a los puntajes normalizados obtenidos en las subpruebas de orientación.

Orientación				
Puntaje normalizado	Clasificación	Tiempo	Frecuencia	
			Espacio	Persona
1-3	Alteración severa		5	
4-6	Alteración leve a moderada	2		
7-13	Normal	18	15	20
14-19	Normal alto			

#### 5.2.1.2. Atención y Concentración

Se observó que en general los participantes fueron capaces de dirigir su atención hacia las diversas tareas y cambiar el foco atencional de una tarea a otra sin dificultad. Tal como se observa en la tabla 10, la amplitud atencional audioverbal y visoespacial (medidas con las subpruebas de dígitos y cubos en

progresión, respectivamente) se encontraron en el rango de normalidad para el 85% de los participantes. De igual forma, el 90% de los participantes tuvo la habilidad para elegir estímulos visuales relevantes y evitar la distracción por aquellos irrelevantes (detección visual). El 75% de los niños logró mantener el esfuerzo atencional durante períodos prolongados de tiempo con estímulos repetitivos (detección de dígitos) y el 100% con material automatizado (series sucesivas). El procesamiento atencional selectivo y sostenido se abordará con mayor detenimiento en el siguiente apartado.

**Tabla 10.** Distribución de los participantes de acuerdo a los puntajes normalizados obtenidos en las subpruebas de atención y concentración.

<b>Atención y Concentración</b>						
Puntaje normalizado	Clasificación	Dígitos en progresión	Cubos en progresión	Frecuencia		
				Detección visual	Detección de dígitos	Series sucesivas
1-3	Alteración severa					
4-6	Alteración leve a moderada	2	3	2	5	
7-13	Normal	16	15	18	15	15
14-19	Normal alto	2	2			5

### 5.2.1.3. Memoria

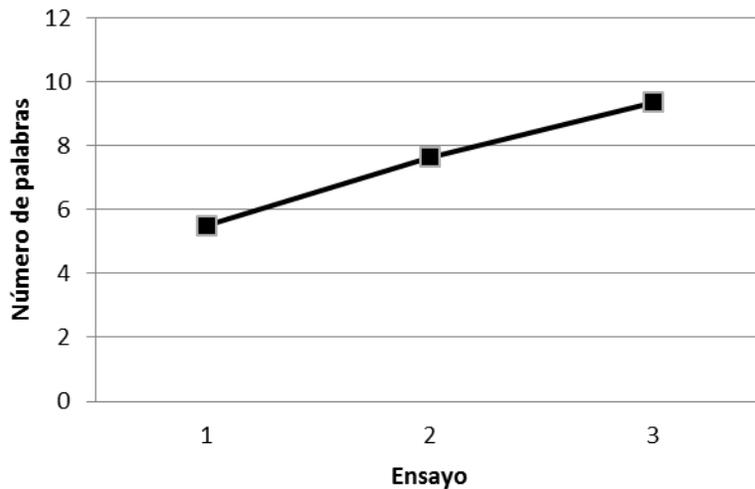
Los procesos de codificación, almacenamiento y recuperación de información verbal se encontraron en el rango de normalidad para la mayoría de los participantes (ver tabla 11 y figura 6). La media de palabras adquiridas en la codificación fue de  $7.5 \pm 1.9$  (D.E.M.) en esta misma fase, todos los participantes mostraron una curva de memoria audio-verbal ascendente (ver figura 7), con efecto de primacia del 41.6% y 39% de recencia, aproximadamente. El aprendizaje verbal mejoró significativamente mediante claves y estrategias de asociación semántica y fonológica predeterminadas ( $8.75 \pm 1.9$  palabras), tal como se observa en el incremento gradual del número de participantes que alcanzaron puntajes superiores a la media en la evocación espontánea, por claves, reconocimiento y pares asociados (ver tabla 11). Asimismo, el 95% de los

participantes fueron capaces de codificar y recuperar correctamente material contextualizado con adecuado orden espacio-temporal y de amplio volumen.

**Tabla 11.** Distribución de los participantes de acuerdo a los puntajes normalizados obtenidos en las subpruebas de memoria verbal.

<b>Memoria Verbal</b>										
Codificación					Frecuencia					
Puntaje normalizado	Clasificación	Curva de memoria volumen promedio	Pares asociados volumen promedio	Memoria lógica promedio historias	Evocación					
					Memoria verbal espontanea	Memoria verbal claves	Memoria verbal reconocimiento	Pares asociados	Memoria lógica promedio historias	
1-3	Alteración severa				1	1				
4-6	Alteración leve a moderada		2	1	2			1	1	
7-13	Normal	17	12	15	14	15	15	19	17	
14-19	Normal alto	3	6	4	3	4	5		2	

**Curva de memoria audio-verbal**



**Figura 7.** Promedio de palabras codificadas en cada ensayo en la subprueba de memoria verbal del instrumento NEUROPSI Atención y Memoria en la muestra de niños (n=20). Puntuación máxima= 12 palabras.

De igual forma, el 90% de la muestra fue capaz de codificar adecuadamente el material visual complejo y el 75% logró evocarlo de forma exitosa. La media de

aciertos durante la codificación de la Figura de Rey Osterreith fue de  $27.7 \pm 3.9$  aciertos y en la evocación de  $16.5 \pm 7.0$ .

**Tabla 12.** Distribución de los participantes de acuerdo a los puntajes normalizados obtenidos en las subpruebas de memoria visual

<b>Memoria Visual</b>					
Puntaje normalizado	Clasificación	Frecuencia			
		Codificación		Evocación	
		Figura Rey Osterreith	Caras	Figura Rey Osterreith	Reconocimiento de Caras
1-3	Alteración severa	1	3		
4-6	Alteración leve a moderada	1	3	5	
7-13	Normal	17	14	12	20
14-19	Normal alto	1		3	

#### 5.2.1.4. Lenguaje y Funciones Ejecutivas

Todos los participantes mostraron un adecuado funcionamiento del aparato fonarticulatorio, lenguaje expresivo fluido, congruente en sintaxis y con adecuada melodía, ritmo y tono que les permitía una adecuada función comunicativa. De esta forma, los participantes fueron capaces de atender y ejecutar de manera precisa tanto órdenes simples como complejas. Por otra parte, el acceso al repertorio léxico-semántico por evocación categórica y fonológica se encontró en el rango de normalidad con un 95 y 65% de la muestra, respectivamente (ver tabla 13 y figura 6), mientras que la media de palabras por evocación semántica fue de  $18.6 \pm 3.6$  y de  $8.1 \pm 4.1$  por evocación fonológica. El 80% de la muestra (16 participantes) presentó un adecuado desarrollo en procesos de fluidez no verbal con un puntaje medio de  $10.4 \pm 4.1$  puntos.

El tipo de pensamiento de la muestra fue predominantemente concreto-funcional, siendo capaces de establecer relaciones a nivel abstracto. La media del puntaje al formar categorías fue de  $12.35 \pm 3.6$  aciertos. El 100% de la muestra

logró mantener y manipular mentalmente información audioverbal y visoespacial acorde a lo esperado a su edad (ver tabla 13 y figura 6). En cuanto al control inhibitorio, el 85% de los participantes fueron capaces de inhibir respuestas preponderantes de manera satisfactoria y el 100% dentro del tiempo esperado para su edad. La organización y ejecución secuencial de movimientos, control oculomotor, inhibición motora y fluidez gráfica del 90% de los niños se encontró en el rango de normalidad (ver tabla 13).

**Tabla 13.** Distribución de los participantes de acuerdo a los puntajes normalizados obtenidos en las subpruebas de lenguaje y funciones ejecutivas.

Puntaje normalizado	Clasificación	Frecuencia								
		Formación de categorías	Fluidez verbal semántica	Fluidez verbal fonológica	Fluidez no verbal	Funciones motoras	Stroop tiempo	Stroop aciertos	Dígitos en regresión	Cubos en regresión
1-3	Alteración severa	3	1	2				2		
4-6	Alteración leve a moderada	6		5	4	2		1		
7-13	Normal	8	13	11	14	18	18	17	19	12
14-19	Normal alto	3	6	2	2		2		1	8

## 5.2.2. Rendimiento cognoscitivo por subproceso

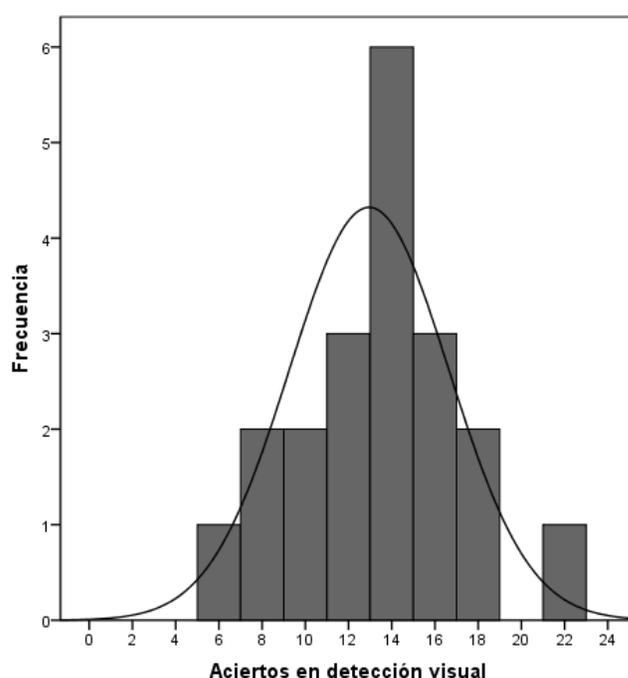
### 5.2.2.1. Atención selectiva

Como se mencionó previamente, el promedio de rendimiento de los participantes asociado al proceso de atención selectiva en la prueba de detección visual del NEUROPSI Atención y Memoria, se encontró en el rango de normalidad. Específicamente, 18 participantes (90%) tuvieron la habilidad para elegir el estímulo visual relevante de la tarea (★) y evitar la distracción por otros estímulos irrelevantes satisfactoriamente (ver tabla 10); la media de la puntuación normalizada fue de 7.8 (ver Figura 6) con un promedio de  $13 \pm 3.6$  estímulos

correctos (ver tabla 14). Aproximadamente, el 75% de la muestra de participantes obtuvo entre 6 y 20 aciertos en la subprueba de detección visual (ver figura 8).

**Tabla 14.** Medidas de tendencia central de los aciertos obtenidos en la subprueba de detección visual.

		Atención selectiva							
		Media	Desviación estándar	Mediana	Mínimo	Máximo	Percentil		
						25	75		
<b>Atención selectiva</b>	Detección visual (Máx. 24)	12.95	3.69	13	6	22	10.5	15	



**Fig. 8.** Histograma de distribución de frecuencias de los aciertos obtenidos en la subprueba de detección visual en la muestra de niños (n=20). Puntuación máxima= 24 aciertos.

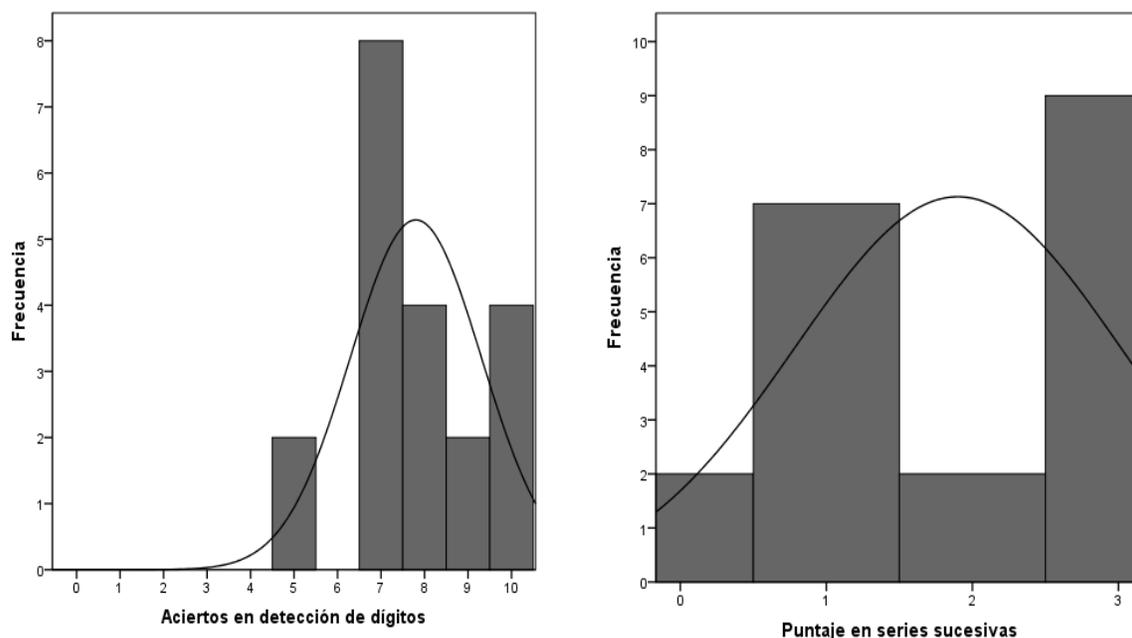
#### 5.2.2.2. Atención sostenida

El 75% de los participantes fueron capaces de mantener el esfuerzo atencional y proporcionar una respuesta conductual consistente ante actividades continuas y repetitivas durante períodos prolongados de tiempo acorde a lo esperado a su edad (15 niños, ver tabla 10). Las puntuaciones medias normalizadas para la subpruebas de detección de dígitos y series sucesivas, se encontraron en el rango de normalidad (ver figura 6). En promedio, los niños

fueron capaces de detectar correctamente  $7.8 \pm 1.5$  estímulos en la subprueba de detección de dígitos (ver tabla 15); el puntaje con mayor frecuencia fue 7, que representa al 40% del total de la muestra (ver figura 9). El puntaje medio en series sucesivas fue próximo a 2 (ver tabla 15), específicamente, el 55% de los participantes completaron la tarea sin errores en  $\leq 45$  segundos (ver figura 9).

**Tabla 15.** Medidas de tendencia central de los aciertos obtenidos en las subpruebas de detección de dígitos y series sucesivas.

		Atención sostenida						
		Media	Desviación estándar	Mediana	Mínimo	Máximo	Percentil	
							25	75
<b>Atención sostenida</b>	Detección de dígitos (Máx. 10)	7.85	1.59	7.50	5	11	7	9
	Series sucesivas (Máx. 3)	1.9	1.1	2	0	3	1	3
	Series sucesivas (s)	33.9	12.2	34	15	56	24	42

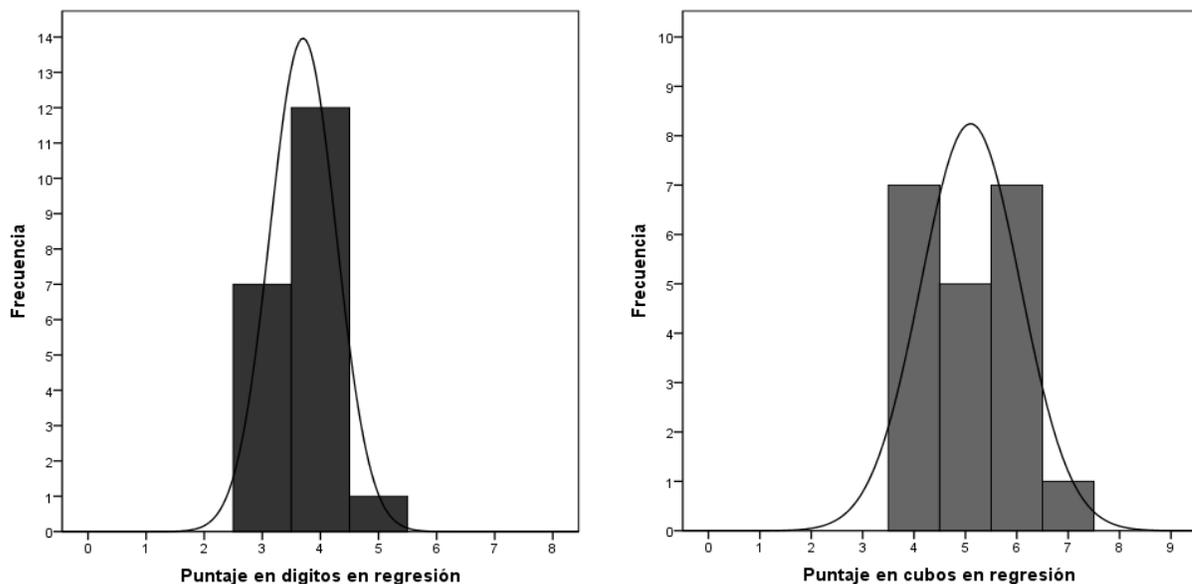


**Fig. 9.** Histogramas de distribución de frecuencias de los puntajes obtenidos en las subpruebas de detección de dígitos (izquierda) y series sucesivas (derecha) en la muestra de niños ( $n=20$ ). Puntuación máxima detección de dígitos= 10; puntuaciones series sucesivas: 0= 2 errores o más, 1= 1 error en menos de 45 s., 2= sin errores en 45 s., 3= sin errores en menos de 45 s.

La totalidad de los participantes logró mantener y manipular mentalmente información audioverbal y visoespacial en función de su edad (ver Tabla 13 y Figura 6). En la modalidad audioverbal, la media de dígitos en regresión fue de 4 siendo el puntaje más frecuente en la muestra de niños (ver Tabla 16 y Figura 10); en la modalidad visoespacial la media fue de 5 cubos en regresión (ver Tabla 16). Cabe señalar que en ésta última, el 40% de los participantes tuvieron una ejecución sobresaliente, es decir mayor a 6 elementos (ver Figura 10 y Tabla 13).

**Tabla 16.** Medidas de tendencia central de los aciertos obtenidos en las subpruebas de dígitos y cubos en regresión.

		Memoria de trabajo						
		Media	Desviación estándar	Mediana	Mínimo	Máximo	Percentil	
							25	75
<b>Memoria de trabajo</b>	Dígitos en regresión (Máx. 8)	3.70	0.57	4	3	5	3	4
	Cubos en regresión (Máx. 9)	5.10	0.96	5	4	7	4	6



**Fig. 10.** Histogramas de distribución de frecuencias de puntajes obtenidos en la subpruebas de dígitos y cubos en regresión en la muestra de niños (n=20). Puntuación máxima dígitos en regresión= 8; puntuación máxima cubos en regresión= 9.

Acorde a los objetivos planteados, se realizó el análisis de correlación de Spearman para determinar el grado de relación entre el puntaje global de Atención-Funciones Ejecutivas y las subpruebas de detección visual, detección de dígitos, series sucesivas, dígitos en regresión, cubos en regresión y stroop de interferencia (tiempo y aciertos) del instrumento NEUROPSI Atención y Memoria y la potencia absoluta de la frecuencia alfa y beta en derivaciones frontales, centrales, temporales, parietales y occipitales de la muestra de estudio. La interpretación de los coeficientes de correlación se realizó con base en la dirección y fuerza de la relación de acuerdo a la clasificación de Salkind (1999), que se muestra a continuación:

0.8 a 1.0	Muy fuerte
0.6 a 0.79	Fuerte
0.4 a 0.59	Moderada
0.2 a 0.39	Débil
0.0 a 0.19	Muy débil

En los siguientes apartados se describen los coeficientes de correlación obtenidos en cada uno de los análisis realizados y se muestran los diagramas de dispersión para los casos en los que en se obtuvo una correlación estadísticamente significativa.

### 5.3.1. Relación entre Atención-Funciones Ejecutivas y la potencia absoluta de alfa y beta.

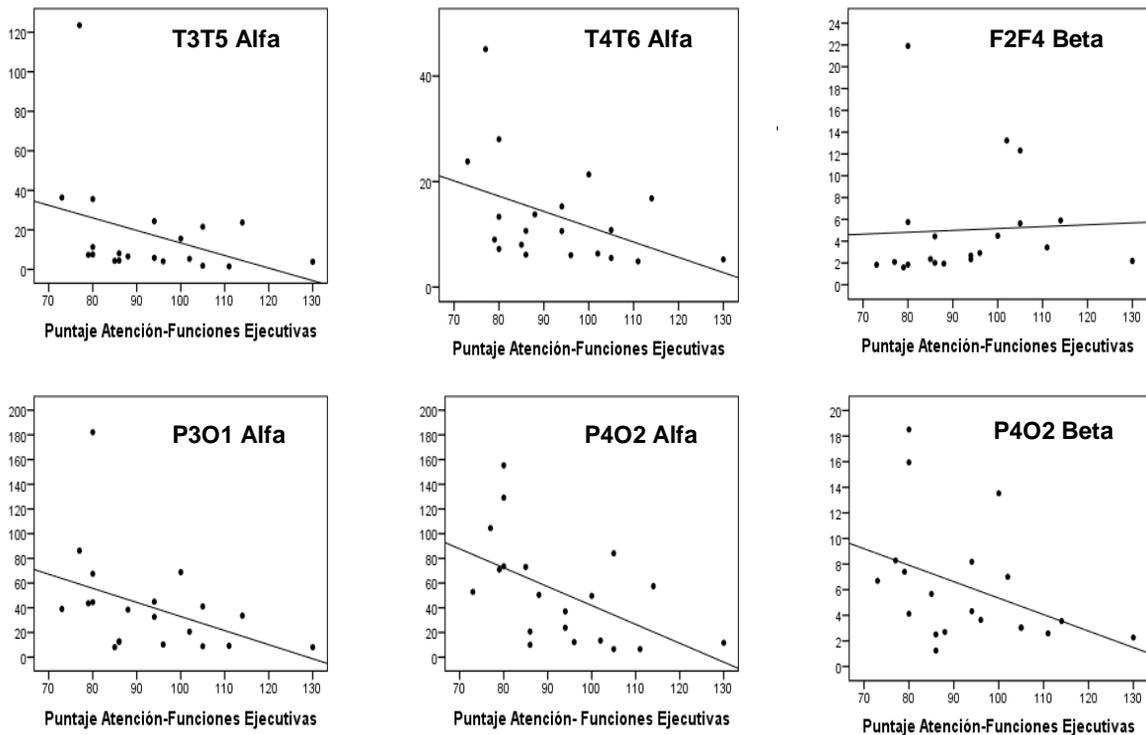
Acorde a los puntajes globales obtenidos de Atención-Funciones Ejecutivas y la potencia absoluta de los ritmos alfa y beta registrada en cada participante, la tabla 17 muestra los coeficientes de correlación obtenidos para cada una de las 16 derivaciones contempladas, tanto para el ritmo alfa como para beta. Adicionalmente, de forma posterior a la tabla, se muestra las representaciones gráficas de las asociaciones que resultaron estadísticamente significativas (figura 11).

De acuerdo a estos resultados, se encontró una correlación estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ), con una relación moderada (coeficiente de correlación entre 0.4 y 0.59), entre el puntaje global de Atención-Funciones Ejecutivas y la potencia absoluta del ritmo alfa con ojos cerrados en las derivaciones T3-T5, T4-T6, P3-O1 y P4-O2. Para el ritmo beta, sólo se encontraron correlaciones estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) en las derivaciones F2-F4 y P4-O2 (tabla 17 y figura 11). En términos del sentido (signo del coeficiente) de las relaciones significativas, a excepción de la derivación F2-F4, se obtuvieron relaciones directamente proporcionales (coeficiente positivo). Es decir, entre más alta sea la potencia absoluta en regiones posteriores (temporales y parietooccipitales bilaterales) en el rango alfa y parietooccipital derecha en la frecuencia beta, menor es el rendimiento en este tipo de actividades. Por el contrario, en la región frontal, conforme aumenta la potencia absoluta del ritmo beta el puntaje en Atención-Funciones Ejecutivas es mejor en la muestra de estudio (ver figura 11).

**Tabla 17.** Coeficientes de correlación lineal entre el puntaje de Atención-Funciones Ejecutivas y la potencia absoluta del ritmo alfa y beta.

Derivación	Alfa		Beta	
	r	P	r	P
F1F7	-0.07	0.75	0.26	0.25
F7T3	-1.21	0.61	-0.30	0.19
<b>T3T5</b>	<b>-0.49*</b>	<b>0.02</b>	-0.35	0.13
T5O1	-0.32	0.16	0.06	0.79
F2F8	0.03	0.89	0.15	0.50
F8T4	-0.25	0.27	-0.24	0.29
<b>T4T6</b>	<b>-0.47*</b>	<b>0.03</b>	-0.35	0.12
T6O2	-0.34	0.13	-0.13	0.58
F1F3	0.12	0.58	0.33	0.15
F3C3	-0.37	0.10	-0.02	0.92
C3P3	-0.36	0.11	-0.14	0.54
<b>P3O1</b>	<b>-0.52*</b>	<b>0.01</b>	-0.21	0.37
<b>F2F4</b>	-0.24	0.30	<b>0.47*</b>	<b>0.03</b>
F4C4	-0.36	0.11	-0.01	0.96
C4P4	-0.36	0.11	-0.05	0.81
<b>P4O2</b>	<b>-0.59**</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>-0.50*</b>	<b>0.02</b>

\*  $p \leq 0.05$ , \*\*  $p \leq 0.01$ .



**Fig. 11.** Diagramas de dispersión de los coeficientes de correlación estadísticamente significativos entre el puntaje de Atención-Funciones Ejecutivas y la potencia absoluta del ritmo alfa v beta en derivaciones laterales v parasacitales en la muestra de niños (n=20).

El resultado del análisis estadístico sugiere que para las derivaciones T3-T5, T4-T6, P3-O2 y P4-O2 del ritmo alfa y las derivaciones F2-F4 y P4-O2 del ritmo beta, es posible rechazar la hipótesis nula y concluir que existe una relación moderada entre la potencia absoluta de los ritmos electroencefalográficos alfa y beta en condiciones de reposo con el desempeño en actividades atencionales y de funcionamiento ejecutivo en la muestra estudiada.

### 5.3.2. Relación entre detección visual y la potencia absoluta de alfa y beta.

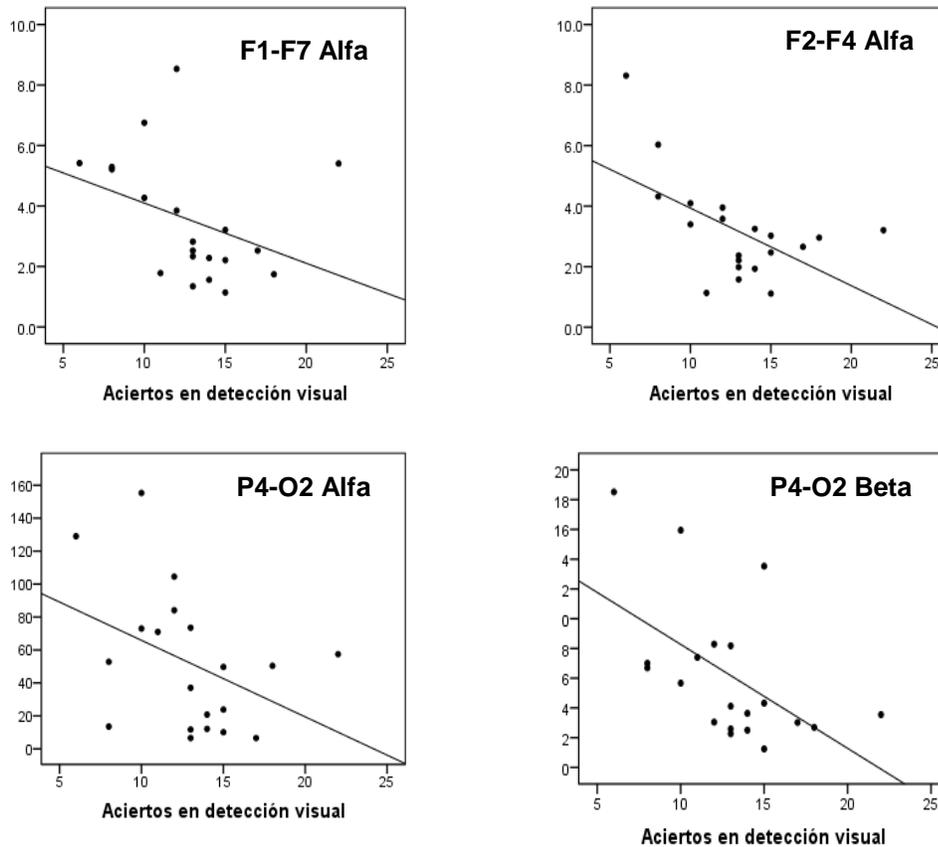
En cuanto al grado de asociación lineal entre el número de aciertos en la prueba de detección visual y la potencia absoluta, se encontraron relaciones moderadas e inversamente proporcionales (coeficiente de correlación negativo) en ambas frecuencias. Las correlaciones significativas ( $p \leq 0.05$ ) se obtuvieron en las

derivaciones F1-F7, F2-F4 y P4-O2 de la frecuencia alfa y en P4-O2 de la banda beta (ver tabla 18 y figura 12). De esta forma, se concluye que existe una relación negativa moderada entre la potencia absoluta de las derivaciones F1-F7 y F2-F4 de la región frontal bilateral en la frecuencia alfa y parietooccipital (P4-O2) derecha en ambos ritmos con el proceso de atención selectiva. Por tanto, conforme aumenta la potencia absoluta en dichas zonas, menor es la capacidad de los niños para elegir un estímulo visual relevante y evitar la distracción por otros estímulos externos o internos irrelevantes.

**Tabla 18.** Coeficientes de correlación lineal entre el puntaje de detección visual y la potencia absoluta del ritmo alfa y beta.

Derivación	Alfa		Beta	
	r	P	r	p
<b>F1F7</b>	<b>-0.51*</b>	<b>0.02</b>	0.004	0.98
F7T3	-0.26	0.25	-0.19	0.40
T3T5	-0.24	0.30	-0.26	0.26
T5O1	-0.13	0.56	-0.12	0.61
F2F8	-0.41	0.07	-0.12	0.58
F8T4	-0.42	0.06	-0.14	0.55
T4T6	-0.04	0.86	-0.05	0.82
T6O2	-0.02	0.91	-0.12	0.59
F1F3	-0.25	0.28	-0.02	0.92
F3C3	-0.39	0.08	-0.24	0.29
C3P3	-0.40	0.08	-0.38	0.09
P3O1	-0.21	0.35	-0.35	0.12
<b>F2F4</b>	<b>-0.52*</b>	<b>0.01</b>	-0.03	0.87
F4C4	-0.35	0.12	-0.14	0.53
C4P4	-0.32	0.15	-0.27	0.23
<b>P4O2</b>	<b>-0.48*</b>	<b>0.03</b>	<b>-0.55*</b>	<b>0.01</b>

\*  $p \leq 0.05$ , \*\*  $p \leq 0.01$ .



**Fig. 12.** Diagramas de dispersión de los coeficientes de correlación entre el puntaje de detección visual y la potencia absoluta del ritmo alfa y beta en derivaciones laterales y parasagitales en la muestra de niños (n=20).

### 5.3.3. Relación entre detección de dígitos y la potencia absoluta de alfa y beta.

No se encontró ningún coeficiente de correlación estadísticamente significativo entre el rendimiento de los participantes en la tarea de detección de dígitos y la potencia absoluta de los ritmos alfa y beta en las derivaciones registradas. Por tanto, de acuerdo a este análisis es probable que no exista una relación entre la capacidad de los niños en mantener el esfuerzo atencional durante períodos prolongados de tiempo con la potencia en las bandas de frecuencia rápidas. Sin embargo, es posible que dicha relación obedezca a otra función.

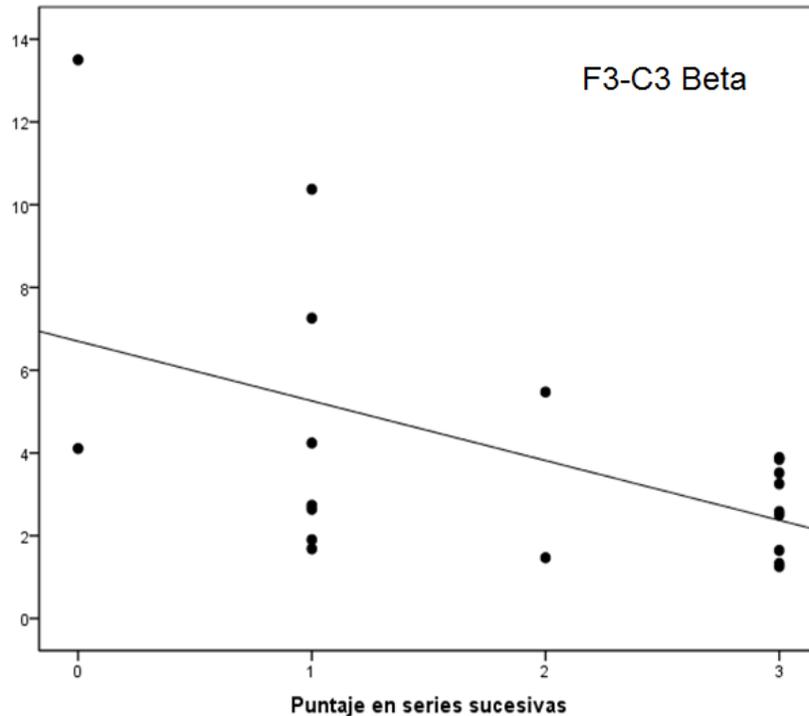
### 5.3.4. Relación entre series sucesivas y la potencia absoluta de alfa y beta.

Por otra parte, se encontró una relación moderada y negativa entre el rendimiento en la prueba de series sucesivas y la potencia absoluta de la derivación F3-C3 en el ritmo beta (ver tabla 19 y figura 13). Por lo cual, a medida que se incrementa la potencia absoluta en la región frontocentral izquierda, el rendimiento de los niños para mantener el control atencional ante estímulos automatizados disminuye moderadamente.

**Tabla 19.** Coeficientes de correlación lineal entre el puntaje de series sucesivas y la potencia absoluta del ritmo alfa y beta.

	Alfa		Beta	
	r	p	r	p
F1F7	-0.16	0.47	-0.16	0.49
F7T3	0.07	0.75	-0.26	0.25
T3T5	0.06	0.98	-0.18	0.44
T501	0.05	0.81	0.12	0.61
F2F8	-0.09	0.67	-0.25	0.27
F8T4	0.01	0.95	-0.24	0.29
T4T6	0.16	0.49	0.13	0.56
T6O2	-0.07	0.74	0.03	0.87
F1F3	-0.06	0.78	-0.11	0.62
<b>F3C3</b>	-0.14	0.55	<b>-0.47*</b>	<b>0.03</b>
C3P3	-0.10	0.66	-0.20	0.39
P301	0.06	0.78	0.11	0.64
F2F4	-0.31	0.18	-0.27	0.24
F4C4	-0.12	0.59	-0.18	0.42
C4P4	-0.20	0.39	-0.27	0.23
P402	-0.18	0.43	0.09	0.69

\*  $p \leq 0.05$ , \*\*  $p \leq 0.01$ .



**Fig. 13.** Diagramas de dispersión de los coeficientes de correlación estadísticamente significativos entre el puntaje de series sucesivas y la potencia absoluta del ritmo alfa y beta en derivaciones laterales y parasagitales en la muestra de niños (n=20).

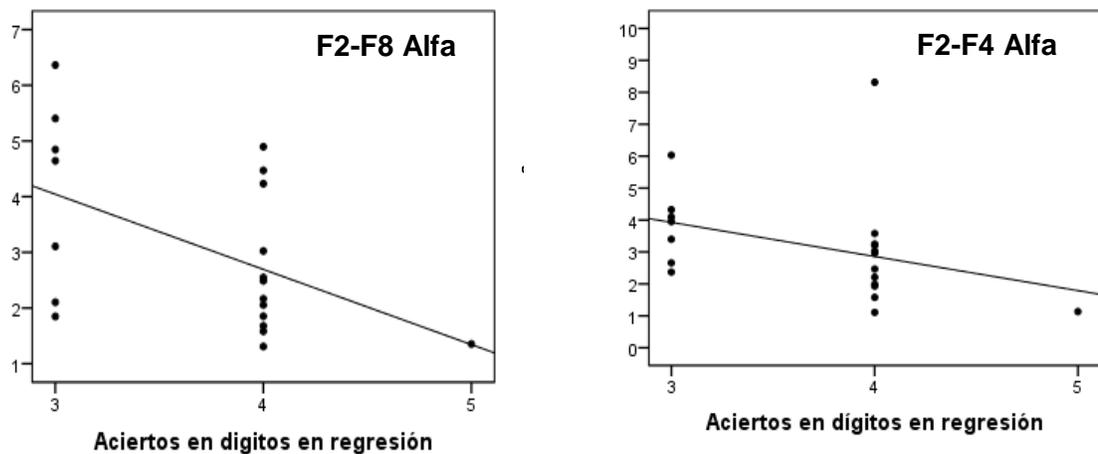
### 5.3.5. Relación entre dígitos en regresión y la potencia absoluta de alfa y beta.

Asimismo, se encontraron dos correlaciones moderadas y negativas entre la potencia absoluta de las derivaciones F2-F8 y F2-F4 en la frecuencia alfa con la habilidad de los niños para mantener y manipular estímulos audioverbales. Como se aprecia en la figura 14, los participantes con el menor número de aciertos presentan la mayor potencia absoluta en la frecuencia alfa en la región frontal derecha. En lo que respecta al ritmo beta no se encontraron correlaciones estadísticamente significativas.

**Tabla 20.** Coeficientes de correlación lineal entre el puntaje de dígitos en regresión y la potencia absoluta del ritmo alfa y beta.

	Alfa		Beta	
	R	p	r	p
F1F7	-0.30	0.19	-0.24	0.29
F7T3	-0.37	0.10	-0.26	0.25
T3T5	-0.06	0.79	-0.08	0.73
T501	0.15	0.51	0.12	0.59
<b>F2F8</b>	<b>-0.50*</b>	0.02	-0.39	0.08
F8T4	-0.26	0.26	-0.19	0.41
T4T6	-0.10	0.65	-0.01	0.96
T6O2	0.08	0.73	0.34	0.14
F1F3	-0.24	0.29	-0.24	0.29
F3C3	-0.25	0.27	-0.26	0.25
C3P3	-0.25	0.28	-0.21	0.35
P301	0.04	0.84	-0.01	0.94
<b>F2F4</b>	<b>-0.53*</b>	0.01	-0.24	0.29
F4C4	-0.27	0.24	-0.17	0.46
C4P4	-0.20	0.38	-0.13	0.56
P402	-0.20	0.39	-0.07	0.75

\*  $p \leq 0.05$ , \*\*  $p \leq 0.01$ .



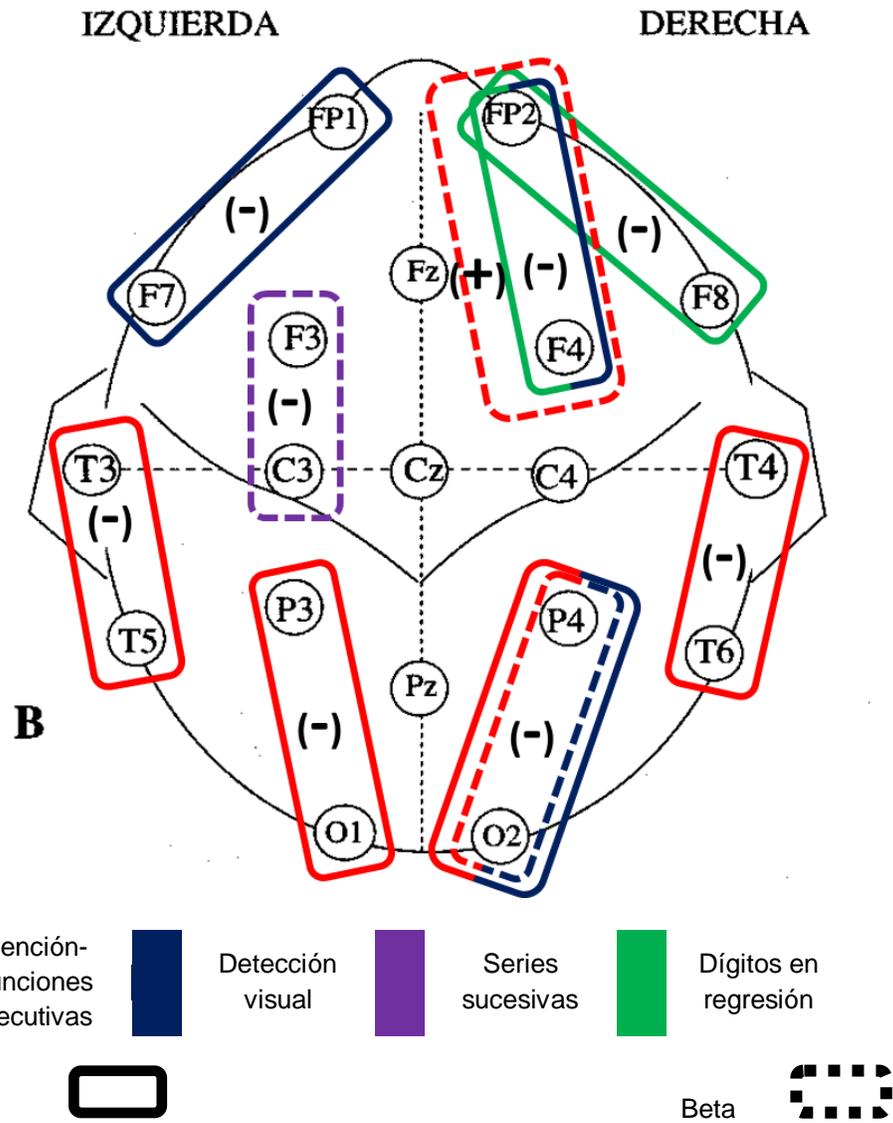
**Fig. 14.** Diagramas de dispersión de los coeficientes de correlación estadísticamente significativos entre el puntaje de dígitos en regresión y la potencia absoluta del ritmo alfa y beta en derivaciones laterales y parasagitales en la muestra de niños (n=20).

### 5.3.6. Relación entre cubos en regresión y la potencia absoluta de alfa y beta.

No se encontró ningún coeficiente de correlación estadísticamente significativo entre el rendimiento de los participantes en la tarea de cubos en regresión y la potencia absoluta de los ritmos alfa y beta en las derivaciones registradas. Por tanto, es probable que no exista una relación entre la capacidad de los niños para mantener y manipular estímulos visoespaciales con la potencia en las bandas de frecuencia rápidas en condiciones de reposo. Al igual que en el caso de la prueba de detección de dígitos, es probable que dicha relación obedezca a una función no lineal.

### 5.3.7. Resumen de las relaciones cognoscitivas y la potencia de alfa y beta.

La Figura 15 muestra un resumen de las asociaciones estadísticamente significativas entre la potencia absoluta del ritmo alfa y beta con los procesos cognoscitivos descritos en la muestra de estudio. Como puede observarse, la mayoría de las asociaciones significativas fueron con la banda de frecuencia alfa (línea continua) y la dirección de dichas asociaciones fue negativa. Por el contrario, con la banda de frecuencia beta se encontró una relación positiva (frontal derecha) y tres negativas (parietooccipital derecha y frontocentral izquierda).



**Fig. 15.** Resumen de correlaciones lineales estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el desempeño en las subpruebas de Atención-Funciones Ejecutivas y la potencia absoluta de los ritmos alfa y beta en la muestra de niños ( $n=20$ ).

## 6. DISCUSIÓN

El objetivo principal del presente estudio fue conocer la relación entre la potencia absoluta en condiciones de reposo con el desempeño en actividades atencionales y de funcionamiento ejecutivo en una muestra de niños escolares sin antecedentes de alteraciones neurológicas. Para ello, se midió la Potencia Absoluta electroencefalográfica en condiciones de reposo dentro del rango de frecuencia alfa y beta en regiones frontales, centrales, temporales, parietales y occipitales en la muestra de participantes, asimismo, se obtuvo el perfil cognoscitivo general y el desempeño en procesos de atención selectiva, sostenida y memoria de trabajo. Acorde a la hipótesis de trabajo se encontró que existe una relación moderada entre las variables de estudio en determinadas regiones topográficas que varía en función de la fuerza y dirección. A partir de lo anterior, fue posible observar que la actividad cortical espontánea o en condiciones de vigilia en reposo presenta características dinámicas que se expresan en poblaciones neuronales asociadas con procesos cognoscitivos específicos, como la atención, tal como lo señalan Michels et al. (2013) y Laufs et al. (2003).

Al analizar el promedio de la PA del ritmo alfa, las regiones corticales posteriores, tanto laterales como parasagitales, fueron las zonas con mayor potencia en comparación a las regiones encefálicas anteriores. Cabe destacar que en las derivaciones laterales, el promedio de PA fue mayor en el hemisferio izquierdo mientras que en las derivaciones parasagitales la PA registrada fue mucho mayor en el hemisferio derecho. En cuanto a beta, en las derivaciones laterales sobresale la asimetría en regiones temporo-occipitales y parieto-occipitales, con predominio en amplitud en el hemisferio no dominante.

La asimetría en la PA con predominio en el hemisferio derecho coincide con lo reportado por Barry (2004) y Eisermann (2013). Sin embargo, en el estudio de Barry y colaboradores en niños de 8 a 12 años de edad, la PA de alfa y beta registrada con el paradigma de ojos cerrados en derivaciones frontales, centrales

y posteriores fue mucho mayor a la encontrada en el presente estudio, dicha diferencia es probable que se deba a la diferencia en el montaje empleado para el análisis. En el estudio referido, el montaje usado fue monopolar de manera que los autores registraron la potencia de regiones corticales más extensas y, por ende de mayor amplitud, a diferencia del montaje bipolar en el cual las regiones corticales son más circunscritas. Asimismo, es preciso señalar que los autores no especifican el número de participantes por cada grupo de edad o si la muestra estuvo balanceada por edad y género, variables que se ha demostrado que influyen de manera notable sobre la amplitud del espectro de potencia (Basar et al., 1997).

Al analizar la relación entre la potencia absoluta y el desempeño en actividades atencionales, los coeficientes de correlación significativos con la frecuencia alfa fueron negativos tanto en derivaciones frontales, temporales y parietooccipitales en ambos hemisferios, sin embargo, cabe destacar que la región parietooccipital derecha en ésta frecuencia fue la que obtuvo el coeficiente de correlación más alto ( $r=-0.59$ ) ligado con procesos de atención. De la misma forma para la frecuencia beta, también en dicha región se obtuvo el coeficiente más alto ( $r=-0.55$ ), específicamente en relación a procesos de atención selectiva. Por tanto, es posible que entre mayor sea la potencia de éstas regiones en las frecuencias alfa y beta, el rendimiento de los niños sea menor en actividades que precisen de altos niveles de atención.

Los resultados anteriores coinciden con la hipótesis de eficiencia neural que sugiere que los niveles de desempeño cognoscitivo superiores se relacionan con una menor activación cortical, es decir, con una baja tasa metabólica de glucosa (Haier et al., 1988; Laufst et al., 2003; Grabner et al., 2004; Michels et al., 2013). En relación a los hallazgos hemodinámicos y actividad EEG en reposo con participantes adultos, Laufs señala que existe una fuerte correlación negativa entre la potencia de la frecuencia alfa y la actividad de la corteza frontal lateral y parietal,

lo cual podría indicar una relación con el sistema atencional y procesos cognitivos relacionados sin ahondar en más detalles.

Siguiendo ésta hipótesis, los resultados del presente estudio indican que es posible relacionar de manera inversa la actividad oscilatoria espontánea en el rango de frecuencia alfa de la región frontal bilateral y parietooccipital derecha en ambos ritmos con la habilidad para elegir estímulos relevantes para una tarea evitando la distracción por estímulos irrelevantes. Estas estructuras forman parte de la red posterior o de orientación en el modelo de Posner y Petersen (1990) del cual se hizo referencia en apartados anteriores (ver figura 1), cabe resaltar que a esta red atencional se le atribuye la integridad de la atención selectiva espacial y se enfatiza la participación de la región parietal superior e inferior así como de los campos oculares frontales como los nodos corticales principales en este subsistema (Posner et al., 2006).

Asimismo, cabe recordar que entre los núcleos talámicos que sobresalen en esta red de orientación se encuentran los núcleos pulvinares, a los cuales se les atribuye la supresión de los estímulos ruido o irrelevantes por medio de la modulación sincrónica del ritmo alfa entre diversas regiones corticales (Saalman et al., 2012). Tal como señala Basso et al. (2005), toda función cortical ha de considerarse de forma integrada y bidireccional con el tálamo de tal manera que dicha estructura juega un papel dinámico y activo en el procesamiento de la información más allá de considerarse como un centro de relevo pasivo de la información. Se ha calculado que en núcleos talámicos de primer orden, como el geniculado lateral, únicamente entre el 5 y 10% de las sinápsis reciben aferentes sensoriales que posteriormente conducen la información hacia la siguiente estructura; el resto de las conexiones son eminentemente moduladoras (Sherman y Guillery, 2002). En el caso del núcleo pulvinar, al ser un núcleo talámico de orden superior, se considera un centro de enlace modulador entre conexiones cortico-tálamo-corticales que recibe retroalimentación de la corteza a través de la capa V (Guillery y Sherman, 2002), región que se ha considerado como uno de los generadores corticales del ritmo alfa más importantes (Silva et al., 1991).

De ser así, el núcleo pulvinar puede ser una estructura selectiva al rango de frecuencia alfa que recibe información específica de diferentes fuentes y actuar como un supervisor o monitor de las aferencias neocorticales para favorecer la activación de interneuronas inhibitorias (GABAérgicas) que respondan en el rango de frecuencia alfa, tal como lo describen Lörincz et al. (2009), sobre la naturaleza inhibitoria de las oscilaciones en esta frecuencia. Las principales eferencias descritas del núcleo pulvinar hacia la corteza corresponden a la región occipital (AB 18 y 19), parietal y temporal, por tanto si la frecuencia alfa es considerada como una oscilación que inhibe la generación de potenciales de acción (Klimesch, 2012) es posible inferir que entre mayor sea la potencia de éste ritmo, es decir, que exista un mayor número de neuronas locales sincronizadas en esta “frecuencia inhibitoria”, menor es la activación de dichas regiones de eferentación y por ende menor será el rendimiento en las funciones cognitivas asociadas a dichas estructuras. Por el contrario, una disminución en la potencia en dicha frecuencia puede ser un reflejo de la liberación de la inhibición que favorece la generación de potenciales de acción y activación cortical. Además, conviene señalar que Klimesch (2001) y Crawford (1995) señalan que los sujetos con mayor potencia tónica en el rango alfa de baja frecuencia presentan una menor capacidad para inhibir estímulos ambientales irrelevantes, tal como se refiere en el los resultados del presente estudio.

En lo que refiere a la potencia de la frecuencia beta y procesos atencionales, las correlaciones que obtuvieron significancia estadística corresponden a las derivaciones frontal derecha ( $r= 0.47$ ) y parietooccipital derecha ( $r=-0.50$ ), en actividades que implican específicamente atención selectiva se encontró una correlación negativa con la región parietooccipital derecha ( $r=-0.55$ ) y en lo que respecta a tareas que requieren de atención sostenida también se observó una relación negativa con la región frontocentral izquierda ( $r= 0.47$ ), estas estructuras corresponden principalmente con la red de vigilia y alerta (ver figura 2).

Como se abordó en apartados anteriores, la participación de la frecuencia beta en actividades atencionales aún es poco clara y las investigaciones al respecto son muy escasas tanto en modelos animales como en humanos; sin embargo, autores como Kaminisky (2012), Gola (2012) y Wróbel (2000) señalan que las oscilaciones en esta frecuencia pueden reflejar un estado de vigilia que prepara al organismo ante posibles estímulos ambientales.

De ser así, es probable que la activación de poblaciones neuronales en el rango de frecuencia beta (“beta frontal”) favorezcan procesos relacionados con el sostenimiento atencional, probablemente en relación directa con los niveles noradrenérgicos de la corteza prefrontal de las fibras de proyección ascendentes del *locus coeruleus* (LC); en condiciones óptimas la células del LC (respuesta fásica con un trasfondo de baja actividad tónica) facilitan la liberación de noradrenalina (NA) que activa regiones frontales de la corteza cerebral. La relación entre el nivel de activación y potencia en dichas regiones posiblemente sea asimétrica entre los hemisferios y regiones antero-posteriores, acorde a los resultados de investigaciones precedentes (Engel y Fries, 2010; Laufs et al., 2003) y los hallazgos reportados en el presente estudio.

Es posible que el incremento en la sincronización de los ensambles neuronales frontales derechos (aumento en la PA) favorezca la activación de los circuitos de alerta que mantienen al organismo preparado para atender algún estímulo sensorial por períodos cortos o largos de tiempo, tal como se ha descrito en los estudios que destacan la participación del hemisferio derecho en el control y regulación de la atención (Posner y Driver, 1992; Whitehead, 1991; Mesulam, 1981), mientras que la relación en el hemisferio izquierdo podría ser inversa, es decir, que el decremento en la sincronización de las células frontales izquierdas favorezca el mantenimiento voluntario de la atención. Por otro lado, los resultados de este estudio indican que posiblemente la amplitud del espectro de frecuencia beta registrada en regiones posteriores (parietooccipital derecho) disminuye

conforme incrementan las habilidades para orientar la atención hacia estímulos relevantes para una tarea, o viceversa, tal como lo describen Engel y Fries (2010).

A partir de lo anterior, parece que las oscilaciones en el rango de frecuencia alfa junto con beta en condiciones de reposo desempeñan un papel especial y particular tanto en el mantenimiento de la atención como en la orientación y selección de los estímulos relevantes a una situación desde la infancia y que perdura en condiciones normales en etapas posteriores de la vida.

En cuanto a la relación entre la PA del ritmo alfa y beta con procesos de memoria de trabajo audioverbal, los resultados mostraron una relación moderada y negativa en las derivaciones F2-F8 ( $r=-0.50$ ) y F2-F4 ( $r=-0.53$ ) con la frecuencia alfa, de tal manera que los participantes con el menor número de aciertos (menor cantidad de números almacenados y manipulados en la memoria) presentaron la mayor potencia absoluta en la región frontal derecha. Esta relación entre el desempeño en tareas de memoria de trabajo y la PA de alfa es posible que indique una relación entre el rendimiento cognoscitivo y la actividad electroencefalográfica, aún en condiciones en reposo y no sólo cuando ambas valoraciones son conducidas de manera simultánea. Al respecto, los estudios de Klimesch (1996) y Başar (1989) han demostrado una fuerte relación entre la actividad alfa y procesos de memoria de trabajo en humanos. Asimismo, la relación negativa encontrada entre ambas variables, nuevamente apoya la hipótesis de eficiencia neural, en condiciones de reposo, de forma paralela al planteamiento sobre la naturaleza inhibitoria de la frecuencia alfa.

A su vez, es probable que la asociación de la memoria de trabajo audioverbal, específicamente con la frecuencia alfa, se encuentre estrechamente vinculada con el componente ejecutivo que coordina las operaciones cognoscitivas para recuperar la información previamente almacenada, el mantenimiento o transformación de dicha información fonológica y la modulación de la atención para ejecutar estos procesos, tal como la literatura neuropsicológica lo señala.

Al respecto de éste componente ejecutivo en la memoria de trabajo, cabe resaltar que la actividad cortical de la derivación F2-F4 también se relacionó de manera negativa con procesos de atención selectiva en esta misma frecuencia tal como se describió en párrafos anteriores y por tanto, sugeriría que el componente de la memoria de trabajo directamente involucrado con la potencia de alfa, podría corresponder con el mecanismo de control atencional responsable de atender al estímulo relevante para una tarea y, concurrentemente, evitar la distracción con estímulos endógenos o exógenos irrelevantes, como lo sugieren Knyazev (2007) y Grabner et al. (2004). De acuerdo con numerosos estudios, el mantenimiento activo de una representación de la información relevante parece depender de ciertas áreas de la corteza prefrontal lateral (Paulesu et al., 1993; Petrides et al., 1993).

Por otro lado, los hallazgos del presente estudio se contraponen a los reportados por Fernández et al. (1998) con respecto a la relación directa entre los valores bajos de potencia de alfa en derivaciones frontales y el bajo desempeño en una tarea de memoria de trabajo verbal, cabe resaltar que en dicho estudio la tarea empleada fue un paradigma similar al de Sternberg, el cual clásicamente se utiliza para medir la recuperación en la memoria a corto plazo (mantenimiento) más que de transformación mental. Aun cuando existen diversos estudios electrofisiológicos en relación a la memoria de trabajo humana, la mayoría de ellos, analizan prioritariamente el mantenimiento de la información con sus correspondientes correlatos neuronales o neuroanatómicos (Freunberger et al., 2011; Stam, 2000) sin instrumentar la manipulación o transformación de esta información.

En cuanto a la memoria de trabajo visoespacial, en la presente investigación no se encontró ninguna relación lineal estadísticamente significativa entre el rendimiento de los participantes en la tarea de cubos en regresión y la potencia absoluta de los ritmos alfa y beta en las derivaciones registradas, aún

cuando se esperaba que algunas regiones de la corteza prefrontal y parietal pudieran estar involucradas (Fiehler et al., 2011).

Por tanto, es probable que no exista una relación entre la capacidad de los niños para mantener y manipular estímulos visoespaciales con la potencia en las bandas de frecuencia rápidas en un estado de reposo, que dicha relación obedezca a una función no lineal o bien que el EEG en esta condición no tenga la suficiente sensibilidad para detectar esta relación.

Finalmente, los resultados de este estudio sugieren que durante la vigilia inactiva (OC) el cerebro no se encuentra realmente en “reposo”, ni que la actividad EEG de fondo pueda ser concebida simplemente como un fenómeno de “ruido” u “ocio” como clásicamente se le ha descrito; por el contrario, es muy posible que la actividad espontánea se asocie preferentemente con subconjuntos neuronales atencionales y de memoria específicos que determinen el proceso y desarrollo de otros procesos cognoscitivos. A lo largo de los años se ha enfatizado que casi todos los procesos funcionales (sensoriales + cognoscitivos) son el resultado de múltiples oscilaciones y componentes en diversas frecuencias, por lo que al estudiar la actividad eléctrica del cerebro es necesario tomar en consideración la participación de la actividad alfa en conjunto a indicadores específicos de otras frecuencias para generar teorías o hipótesis sobre la participación dinámicas de las distintas redes neuronales y su posible disfunción.

Es muy probable que la actividad alfa y beta puedan ser empleadas, en un futuro como biomarcadores clínicos en alteraciones cognoscitivas en la infancia que involucren procesos sensoriales, mnésicos, atencionales y ejecutivos que complementen o mejoren el diagnóstico clínico. En población infantil, las técnicas y herramientas diagnósticas para la exploración y evaluación del sistema nervioso tienen un alcance limitado o bien, muchas de ellas no son de fácil adquisición. Por lo tanto, el paradigma de vigilia con ojos cerrados en relación a la valoración de procesos mnésico-atencionales puede ser un indicador de fácil instrumentación

concurrente a la evaluación neuropsicológica de funciones atencionales y ejecutivas.

## **7. LIMITACIONES Y APORTES**

Una de las principales limitaciones del presente estudio fue el alto porcentaje de participantes excluidos para conformar la muestra final acorde a los criterios de selección señalados. En el transcurso de las valoraciones realizadas, muchos de los participantes tuvieron que ser excluidos por la presencia de electromorfogramas anormales, alteraciones severas en su rendimiento cognoscitivo o bien, por antecedentes de alteraciones neurológicas aún sin que existiera la presencia de un trastorno clínico o la sospecha del mismo en el curso del neurodesarrollo; por tanto, se requirió una segunda etapa de muestreo y recolección de datos para cubrir el mínimo de participantes requeridos y garantizar la validez y confiabilidad estadística de los hallazgos obtenidos. El porcentaje de exclusión (46%) rebasó por mucho lo referido en estudios similares (26%; Serra et al., 2004) relacionados con la selección de un grupo control en población infantil mexicana. De esta forma, el 46% de los niños considerados como sanos, parecen ser sujetos en riesgo de presentar un trastorno en el desarrollo. Dicho hallazgo, no contemplado en dimensión e impacto, es de interés tanto para padres de familia y de maestros de escuela sobre la necesidad de seguir de cerca el desarrollo y comportamiento de los niños.

Como resultado de las dificultades encontradas en la etapa de selección de participantes, el pequeño tamaño de la muestra puede ser poco confiable para detectar correlaciones significativas o bien, encontrarse relaciones modestas entre las variables de estudio, como arrojaron los resultados reportados.

Sin embargo, pese a las limitaciones anteriores, la valoración clínica de los participantes (entrevista a profundidad con los tutores, valoración neuropsicológica y EEG analógico) garantizó que ninguno de los niños escolares presentara

alteraciones y/o disfunciones en funciones cognoscitivas, emocionales o de salud que pudieran interferir con los resultados y por tanto, las relaciones entre las variables fueran atribuibles a otra condición.

Asimismo, todas las valoraciones clínicas fueron conducidas por el mismo personal y sin previo conocimiento sobre los antecedentes neurobiológicos o los resultados de las valoraciones practicadas para evitar la subjetividad en la evaluación y selección de los participantes.

Por último, los valores de los coeficientes de correlación entre variables EEG y cognoscitivas reportados en este estudio, son mucho mayores a los encontrados en estudios similares con el empleo de pruebas de inteligencia, por lo que es posible que la instrumentación neuropsicológica para procesos atencionales y ejecutivos sea más sensible para explorar dichas relaciones que otros instrumentos exclusivamente psicométricos. Asimismo, se espera que los resultados de este estudio contribuyan a la literatura relacionada entre medidas espectrales del EEG y variables derivadas de pruebas neuropsicológicas de uso frecuente en población infantil mexicana.

## 8. CONCLUSIONES

La actividad de las oscilaciones corticales de niños escolares de 9 y 10 años de edad sin antecedentes clínicos es asimétrica entre los hemisferios y regiones antero-posteriores, especialmente dentro del rango de frecuencia alfa.

La PA en la frecuencia alfa es mayor en el hemisferio derecho en derivaciones parasagitales en comparación a las derivaciones laterales, sin embargo también es notable la gran variabilidad topográfica de la PA entre sujetos.

En el caso de la frecuencia beta, la mayor PA se registró en las derivaciones posteriores tanto laterales como parasagitales del hemisferio derecho y con menor variabilidad intersujetos.

Existe una relación moderada entre el rendimiento cognoscitivo en procesos de atención y memoria de trabajo y la actividad electroencefalográfica en determinadas regiones cerebrales no sólo cuando las valoraciones son conducidas de forma simultánea, sino también cuando el registro EEG y la evaluación neuropsicológica son realizadas en momentos distintos, pero temporalmente próximos.

Los resultados en este grupo de participantes, sugieren que la PA de las frecuencias alfa y beta registrada en estructuras que forman parte de la red atencional posterior y de alerta (circuito fronto-parietal) tiene una relación moderada e inversamente proporcional con el desempeño de los niños en actividades que precisen de atención selectiva y sostenida. De igual forma, el desempeño en procesos de memoria de trabajo audioverbal tiene una relación negativa moderada con la PA del ritmo alfa en derivaciones fronto-frontales bilaterales; dicha relación posiblemente se encuentre estrechamente vinculada con el componente ejecutivo.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, E., Husain, M., Summer, P. (2008). Human intraparietal sulcus (IPS) and competition between exogenous and endogenous saccade plans. *Neuroimage*, 40: 838-851.
- Anokhin, A. (1988). The sources of individual variability of the human EEG. En V. Rusalov, *Individual Psychological Differences and Electric Activity of the Human Brain* (págs. 149-176). Moscú: Nauka.
- Anokhin, A. (1996). EEG alpha rhythm frequency and intelligence in normal adults. *Intelligence*, 23: 1-14.
- Anokhin, A., Birbaumer, N., Lutzenberg, W., Nikolaev, A., Vogel, F. (1996). Age increases brain complexity. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 99: 63-68.
- Arciniegas, D. (2011). Clinical electrophysiologic assessments and mild traumatic brain injury: State of the science and implications for clinical practice. *International Journal of Psychophysiology*, 82(1), 41-52.
- Aston-Jones, G., Rajkowski, J., Cohen, J. (1999). Role of Locus Coeruleus in Attention and Behavioral Flexibility. *Society of Biological Psychiatry*, 46:1309-1320.
- Baddeley, D., Hitch, G. (1974). Working memory. En G. Bower, *The psychology of learning and motivation* (págs. 47-90). New York: Academic Press.
- Banaschewski, T., Brandeis, D. (2007). Annotation: what electrical brain activity tell us about brain function that other techniques cannot tell us- a child psychiatric perspective. *Journal of child psychology and psychiatry*, 48: 415-535.
- Barry, R., Clarke, A., Johnstone, S., et al. (2009). EEG differences in children between eyes-closed and eyes-open resting conditions. *Clinical neurophysiology*, 120: 1806-1811.
- Barry, R., Clarke, A., McCarthy, R., Selikowitz, M., et al. (2004). Age and gender effects in EEG coherence: I. Developmental trends in normal children. *Clinical Neurophysiology*, 115: 2252-2258.
- Basar, E., Güntekin, B. (2012). A short review of alpha activity in cognitive processes and in cognitive impairment. *International Journal of Psychophysiology*, 86: 25-38.

- Basar, E., Basar-Eroglu, C., Röschke, J., Schütt, A. (1989). The EEG is a quasi-deterministic signal anticipating sensory-cognitive task. En E. Basar y T. Bullock, *Brain dynamics* (págs. 43-71). New York: Springer.
- Basar, E., Yordanova, J., Kolev, V. (1997). Is the alpha rhythms a control parameter for brain responses? *Biological cybernetics*, 76(6), 471-480.
- Basso, K., Margolin, A., Stolovitzky, G., Klein, U., Dalla-Favera, R., Califano, A. (2005). Reverse engineering of regulatory networks in human B cells. *Nature Genetics*, 37:382-390.
- Battaglia, F., Mcnaughton, B. (2011). Polyrhythms of the Brain. *Neuron*, 72: 6-8.
- Brailowsky, S. (2002). *Las sustancias de los sueños:neuropsicofarmacología* (3a ed.). México: FCE,SEP,CONACyT.
- Bell, M. (2002). Power changes in infant EEG frequency bands during a spatial working memory task. *Psychophysiology*, 39: 450-458.
- Bell, M., Wolfe, C. (2007). Changes in brain functioning from infancy to aery childhood: Evidence from EEG power and coherence during working memory tasks. *Developmental Neuropsychology*, 31: 21-38.
- Benca, R., Obermeyer, W., Larson, C., et al. (1999). EEG alpha power and alpha power asymmetry in sleep and wakefulness. *Psychophysiology*, 36:430-436.
- Benninger, C., Matthis, P., Scheffner, D. (1984). EEG development of healthy boy and girls. Results of a longitudinal study. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 57: 1-12.
- Berger, H. (1930). Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. *Journal of Neuroscience, Psychology*, 40:160-179.
- Best, J., Miller, P. (2010). A developmental perspective on executive function. *Child development*, 81: 1641-1660.
- Best, J., Miller, P., Jones, L. (2009). Executive functions after age 5: Changes and correlates. *Developmental Review*, 29: 180-200.
- Bollimunta, A., et al (2008). Neuronal mechanisms of cortical alpha oscillations in awake-behaving macaques. *The Journal of Neuroscience*, 28: 9976-9988.
- Booth, J., Burman, D., Meyer, J., et al. (2003). Neural development of selective attention and response inhibition. *Neuroimage*, 20: 737-751.
- Bouret, S., Sara, S. (2005). Network reset: a simplified overarching theory of locus coeruleus noradrenaline function. *TRENDS in Neurosciences*, 28: 574-582.

- Brust-Carmona, H., Valadez, G., Flores, B., Martínez, J., Sánchez, A., Rodríguez, M., Yañez, O. (2013). Potencia absoluta de oscilaciones corticales y su distribución topográfica en una muestra de adultos jóvenes en vigilia inactiva y en atención inespecífica. *Revista de Investigación Clínica*, 65: 52-64.
- Bunge, S., Dudokovic, N., Thomason, M., Vaidaya, C., Gabrieli, J. (2002). Immature frontal lobe contributions to cognitive control in children: evidence from fMRI. *Neuron*, 33: 301-311.
- Buschman, T., Miller, E. (2007). Top-down versus bottom-up control of attention in the prefrontal and posterior parietal cortices. *Science*, 30: 1860-1862.
- Buschman, T., Miller, E. (2009). Serial, covert shifts of attention during visual search are reflected by the frontal eye fields and correlated with population oscillations. *Neuron*, 63: 386-396.
- Buzáki, G. (2006). *Rhythms of the brain*. London: Oxford University Press.
- Chabot, R., di Michele, F., Prichep, L. (2005). The role of quantitative electroencephalography in child and adolescent psychiatric disorders. *Child & Adolescent Psychiatric Clinics of North America*, 14: 21-53.
- Chambers, C., Garavan, H., Belgrove, M. (2009). Insights into the neural basis of response inhibition from cognitive and clinical neuroscience. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33: 631-646.
- Charlot, V., Tzourio, N., Zilbovicius, M., Mazoyer, B., Denis, M. (1992). Different mental imagery abilities result in different regional cerebral blood flow activation patterns during cognitive tasks. *Neuropsychologia*, 30: 565-580.
- Clark, D., Boutros, N., Méndez, M. (2007). *El cerebro y la conducta: neuroanatomía para psicólogos* (2da. ed.). (A. Castellanos Urdaibay, Trad.) México: El manual moderno.
- Clarke, A., Barry, R., McCarthy, R., Selikowitz, M. (2001). Age and sex effects in the EEG: development of the normal child. *Clinical Neurophysiology*, 112: 806-814.
- Cooley, E., Morris, R. (1990). Attention in children: A neuropsychological based model for assessment. *Developmental Neuropsychology*, 6: 239-274.
- Crawford, H., Knebel, T., Vendemia, J., et al. (1995). EEG activation patterns during tracking and decision making tasks: differences between low and high sustained attention. *8th International Symposium on Aviation Psychology*, (págs. 24-27). Columbus.

- Diamond, A. (1990). Developmental time course in human infants and infant monkeys, and the neural bases of inhibitory control in reaching. En A. Diamond, *The development and neural bases of higher cognitive functions* (págs. 637-676). New York: New York Academy of Sciences Press.
- Diamond, A. (1990). The development and neural bases of memory functions as indexed by the AB and delayed response tasks in human infants and infant monkeys. En A. Diamond, *The development and neural bases of higher cognitive functions* (págs. 267-317). New York: New York Academy of Sciences Press.
- Doppelmayr, M., Klimesch, W., Stadler, W., Pöllhuber, D., Heine, C. (2002). EEG alpha power and intelligence. *Intelligence*, 30: 289-302.
- Domino, E., French, J., Pohorecki, R., Galus, C., Pandit, S. (1989). Further observations on the effects of subhypnotic doses of midazolam in normal volunteers. *Psychopharmacology Bulletin*, 25: 460-465.
- Drewe, S. (1975). An experimental investigation of Luria's theory on the effects of frontal lobe lesions in man. *Neuropsychologia*, 13: 421-429.
- Engel, A., Fries, P. (2010). Beta-band oscillations- signalling the status quo? *Current Opinion in Neurobiology*, 20: 156-165.
- Estévez, A., García, C., & Junqué, C. (1997). La atención: una compleja función cerebral. *Revista de Neurología*, 25: 1989-1997.
- Evans, J., & Abarbanel, A. (1999). *Introduction to Quantitative EEG and Neurofeedback*. San Diego, CA, US: Academic Press.
- Fernandez, T., Harmony, T., Silva, J., et al (1998). Relationship of specific EEG frequencies at specific brain areas with performance. *Neuroreport*, 9: 3681-3687.
- Feshchenko, V., Veselis, R., Reinsel, R. (1997). Comparison of the EEG effects of midazolam, thiopental and propofol: The role of underlying oscillatory systems. *Neuropsychobiology*, 35: 211-220.
- Fiehler, K., Bannert, M., Bischoff, M., Blecker, C., Stark, R., Vaitl, D., Rösler, F. (2011). Working memory maintenance of grasp-target information in the human posterior parietal cortex. *Neuroimage*, 54: 2401-2411.
- Flores, J., Ostrosky-Solís, F. (2008). Neuropsicología de lóbulos frontales, funciones ejecutivas y conducta humana. *Revista de Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 8: 47-58.

- Fonseca, L., Tredus, G., Chiodini, M., Cerqueira, J., Tonelotto, J. (2006). Quantitative EEG in children with learning disabilities. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 64: 376-381.
- Fox, M., Raichle, M. (2007). Spontaneous fluctuations in brain activity observed with functional magnetic resonance imaging. *Nature Reviews Neuroscience*, 8: 700-711.
- Freunberger, R., Werkle-Bergner, M., Griesmayr, B., Lindenberger, U., Klimesch, W. (2011). Brain oscillatory correlates of working memory constraints. *Brain research*, 1375: 93-103.
- Garavan, H., Ross, T., Stein, E. (1999). Right hemispheric dominance of inhibitory control: An event-related functional MRI study. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 96: 8301-8306.
- Garavan, H., Ross, T., Murphy, R., Roche, R., Stein, E. (2002). Dissociable Executive Functions in the Dynamic Control of Behavior: Inhibition, Error Detection and Correction. *Neuroimage*, 17: 1820-1829.
- Garcell, R. (2004). Aportes del electroencefalograma convencional y el análisis de frecuencias para el estudio del trastorno por déficit de atención. Segunda parte. *Salud Mental*, 27: 7-14.
- Gasser, T., Verleger, R., Bächer, P., Sroka, L. (1988). Development of the school-age children and adolescents. I. Analysis of band power. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 69: 91-99.
- Gola, M., Kaminski, J., Brzezicka, A., Wróbel, A. (2012). Beta band oscillations as a correlate of alertness-Change in aging. *International Journal of Psychophysiology*, 85: 62-67.
- Grabner, R., Fink, A., Stipacek, A., Neuper, C., Neubauer, A. (2004). Intelligence and working memory systems: evidence of neural efficiency in alpha band ERD. *Cognitive Brain Research*, 20: 212-225.
- Guillery, R., Sherman, M. (2002). Thalamic relay functions and their role in corticocortical communication: Generalizations from the visual system. *Neuron*, 33: 163-175.
- Gusnard, D., Akbudak, E., Shulman, G., Raichle, M. (2001). Medial prefrontal cortex and self-referential mental activity: Relation to a default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98: 4259-4264.
- Haegens, S., Nácher, V., Luna, R., Romo, R., Jensen, O. (2011).  $\alpha$ -Oscillations in the monkey sensorimotor network influence discrimination performance by

- rhythmical inhibition of neuronal spiking. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 48: 19377-19382.
- Haier, R., Siegel, B., Nuechterlein, K., Hazlett, E., Wu, J., Paek, J., Buchsbaum, M. (1988). Cortical glucose metabolic rate correlates of abstract reasoning and attention studied with positron emission tomography. *Intelligence*, 12:199-217.
- Hallet, P. (1978). Primary and secondary saccades to goals defined by instructions. *Vision Research*, 18:1279-1296.
- Harmony, T., Marosi, E., Becker, J., Rodríguez, M., Reyes, A., Fernández, T., Bernal, J. (1995). Longitudinal quantitative EEG study of children with different performances on a reading-writing test. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 95:426-433.
- Heilman, K., & van Den Abell, T. (1980). Right hemisphere dominance for attention: The mechanism underlying hemispheric asymmetries of inattention (neglect). *Neurology*, 30: 327-330.
- Heilman, K., Bowers, D., Valenstein, E., Watson, R. (1986). The right hemisphere: Neuropsychological functions. *Journal of Neurosurgery*, 64: 693-704.
- Jausovec, N. (1996). Differences in EEG Alpha Activity Related to Giftedness. *Intelligence*, 23:159-173.
- JausovecN., Jausovec, K. (2012). Working memory training: Improving intelligence- Changing brain activity. *Brain and Cognition*, 79:96-106.
- Jensen, O., Lisman, J. (2005). Hippocampal sequence-encoding driven by a cortical multi-item working memory. *Trends in Neuroscience*, 28:67-72.
- Kaminsky, J., Brzezicka, A., Mateusz, G., Wróbel, A. (2012). Beta band oscillations engagement in human alertness process. *International Journal of Psychophysiology*, 85: 125-128.
- Klimesch, W. (1996). Memory processes, brain oscillations and EEG synchronization. *International Journal of Psychophysiology*, 24: 61-100.
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29: 169-195.
- Klimesch, W. (2012). Alpha band oscillations, attention and controlled access to stored information. *Trends in Cognitive Science*, 16: 606-617.

- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Hanslmayr, S. (2006). Upper alpha ERD and absolute power: Their meaning for memory performance. *Progress in Brain Research, 159*: 151-165.
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Wimmer, H., Gruber, W., et al. (2001). Alpha and beta power changes in normal and dyslexic children. *Clinical Neurophysiology, 112*: 1186-1195.
- Klimesch, W., Sauseng, P., Hanslmayr, S. (2007). EEG alpha oscillations: The inhibition-timing hypothesis. *Brain Research Reviews, 53*:63-88.
- Klimesch, W., Schimke, H., Pfurtscheller, G. (1993). Alpha frequency, cognitive load and memory performance. *Brain Topography, 5*: 241-251.
- Klingberg, T., Forssberg, H., Westerberg, H. (2002). Increased brain activity in frontal and parietal cortex underlies the development of visuospatial working memory during childhood. *Journal of Cognitive Neuroscience, 14*: 1-10.
- Knyazev, G. (2007). Motivation, emotion and their inhibitory control mirrored in brain oscillations. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 31*:377-395.
- Knyazev, G. (2012). EEG delta oscillations as a correlate of basic homeostatic and motivational. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 36*:677-695.
- Koop, J., Fastenau, P., Dunn, D., et al. (2005). Neuropsychological correlates of electroencephalograms in children with epilepsy. *Epilepsy Research, 64*: 49-62.
- Kopell, N., Ermentrout, G., Whittington, M., Traub, R. (2000). Gamma rhythms and beta rhythms have different synchronization properties. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 97*: 1867-1872.
- Larson, C., Davidson, R., Abercrombie, H., et al. (1998). Relations between PET-derived measures of thalamic glucose metabolism and EEG alpha power. *Psychophysiology, 35*: 162-169.
- Laufst, H., Krakow, K., Sterzer, P., Eger, E., Beyerle, A. (2003). Electroencephalographic signatures of attentional and cognitive default modes in spontaneous brain activity fluctuations at rest. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 100*: 11053-11058.
- 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: Academic Press.

- Loo, S., Barkley, R. (2005). Clinical utility of EEG in attention deficit hyperactivity disorder. *Applied Neuropsychology*, 12:64-76.
- Lörincz, M., Kékesi, K., Juhász, G., Crunelli, V., Hughes, S. (2009). Temporal framing of thalamic relay mode firing by phasic inhibition during the alpha rhythm. *Neuron*, 63: 683-696.
- Markela-Lerenc, J., Ille, N., Kaiser, S., et al. (2004). Prefrontal-cingulate activation during executive control: which comes first? *Cognitive Brain Research*, 18: 278-287.
- Marosi, E. (2008). EEG Computarizado (QEEG). En E. Marosi, *Electroencefalografía de la A a la Z* (págs. 169-190). D.F.: FES Iztacala, UNAM.
- Matousek, M., Petersén, I. (1973). I. Frequency analysis of the EEG in normal children and in normal adolescents. En P. Kellaway, I. Petersén, *Automation of Clinical Electroencephalography* (págs. 75-102). New York: Raven Press.
- Matusevich, D., Ruiz, M., Vairo, M. (2002). EEG Cuantitativo y Mapeo Cerebral. *Vertex*, 13: 198-204.
- Matsuura, M., Yamamoto, K., Fukuzawa, H., Okubo, Y., Uesugi, H., et al. (1985). Age development and sex differences of various EEG elements in healthy children and adults- quantification by a computerized wave form recognition method. *Electroencephalography ann clinical neurophysiology*, 60:394-406.
- McCormick, D. (1992). Neurotransmitter actions in the thalamus and cerebral cortex and their role in neuromodulation of thalamocortical activity. *Progress in Neurobiology*, 39: 337-388.
- Meneses, S. (2006). Bases neurofisiológicas de la atención. En A. González, J. Ramos, *La atención y sus alteraciones: del cerebro a la conducta* (págs. 13-26). México: Manual Moderno.
- Mesulam, M. (1981). A cortical network for directed attention and unilateral neglect. *Annals of Neurology*, 28: 309-315.
- Mesulam, M. (1991). Large-scale neurocognitive networks and distributed processing for attention, lenguaje and memory. *Annals of Neurology*, 28: 597-613.
- Michels, L., Muthuraman, M., Lüchinger, R., Martin, E., et al. (2013). Developmental changes of functional and directed resting-state connectivity associated with neuronal oscillations in EEG. *Neuroimage*, 81: 231-242.

- Moruzzi, G., Magoun, H. (1949). Brain stem reticular formation and activation of the EEG. *Electroencephalography Clinical Neurophysiology*, 1:455-473.
- Neidermeyer, E. (1999). The normal EEG of the waking adult. En E. Neidermeyer, F. Lopes da Silva, *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields* (4ta. ed. ed., págs. 149-173). Baltimore: MD: Williams and Wilkins.
- Nelson, C., Monk, C., Lin, J., et al. (2000). Functional neuroanatomy of spatial working memory in children. *Developmental Psychology*, 36:109-116.
- Niedermeyer, E., Lopes da Silva, F. (1987). *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields* (4 ed. ed.). EU: Lippincott Williams & Williams.
- Nofzinger, E., Price, J., Meltzer, C., et al. (2000). Towards a neurobiology of dysfunctional arousal in depression: the relationship between beta EEG power and regional cerebral glucose metabolism during NREM sleep. *Psychiatry Research*, 98:71-91.
- Norman, D., Shallice, T. (1986). Attention to action: willed and automatic control of behavior. En R. Davidson, G. Schwartz, D. Shapiro, *Consciousness and self-regulation* (págs. 1-18). New York: Plenum Press.
- Oishi, N., Mima, T., Ishii, K., Bushara, K., et al. (2007). Neural correlates of regional EEG power change. *Neuroimage*, 36:1301-1312.
- Ostrosky-Solís, F., Ardila, A., Rosselli, M. (1999). NEUROPSI: A brief neuropsychological test battery in Spanish with norms by age and educational level. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 5:413-433.
- Ostrosky-Solís, F., Gómez, M., Matute, E., Rosselli, M., Ardila, A., Pineda, D. (2003). Neuropsi Atención y Memoria 6 a 85 años. México: American Book Store.
- Paulesu, E., Frith, C., Frackowiack, R. (1993). The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature*, 363: 342-345.
- Pérez, E. (2008). *Desarrollo de los procesos atencionales*. Madrid.
- Petrides, M., Alivisatos, B., Meyer, E., Evans, A. (1993). Functional activation of the human frontal cortex during the performance of verbal working memory tasks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 90: 878-882.

- Pfurtscheller, G., Stancák, A., Neuper, C. (1996a). Event-related synchronization (ERS) in the alpha band- an electrophysiological correlate of cortical idling: A review. *International Journal of Psychophysiology*, 24: 39-46.
- Pfurtscheller, G., Stancák, A., & Neuper, C. (1996b). Post-movement beta synchronization. A correlate of an idling motor area? *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 98: 281-293.
- Picton, T., Stuss, D., Alexander, M., Shallice, T., Binns, M., Gillingham, S. (2007). Effects of focal frontal lesions on response inhibition. *Cerebral Cortex*, 17: 826-838.
- Posner, M., Driver, J. (1992). The neurobiology of selective attention. *Current Opinion in Neurobiology*, 2: 165-169.
- Posner, M., Petersen, S. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Reviews*, 13: 25-42.
- Posner, M., Sheese, B., Odludas, Y., Tang, Y. (2006). Analyzing and shaping human attentional networks. *Neural Networks*, 19:1422-1429.
- Potenza, M., Leung, H., Blumberg, H., Peterson, B., Fulbright, R., Lacadie, C., Gore, J. (2003). An fMRI Stroop task study of ventromedial prefrontal cortical function in pathological gamblers. *American Journal of Psychiatry*, 160, 1990-1994.
- Rangaswamy, M., Porjesz, B., Chorlian, D., et al. (2002). Beta power in the EEG of Alcoholics. *Biological Psychiatry*, 51: 831-842.
- Repovs, G., Baddeley, A. (2006). The multi-component model of working memory: explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 139: 5-21.
- Ricardo, J. (2004). Aportes del electroencefalograma convencional y el análisis de frecuencias para el estudio del trastorno por déficit de atención. Segunda parte. *Salud Mental*, 27: 7-14.
- Roger, B., Tapani, S., Kimmo, O., Hajele, Ö. (1991). EEG in children with spelling disabilities. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 79:247-255.
- Ruff, C., Kanuff, M., Fangmeier, T., Spreer, J. (2003). Reasoning and working memory: common and distinct neural processes. *Neuropsychologia*, 41: 1241-1253.
- Saalmann, Y., et al. (2012). The pulvinar regulates information transmission between cortical areas based on attention demands. *Science*, 337: 753-756.

Salkind, N. (1999). *Métodos de Investigación* (3ra. Ed). México: Prentice Hall, p.p. 223-227.

Clark, D., Boutros, N., Méndez, M. (2007). *El cerebro y la conducta: neuroanatomía para psicólogos* (2da. ed.). (A. Castellanos Urdaibay, Trad.) México: El manual moderno

Sauseng, P., Griesmayr, B., Freunberger, R., Klimesch, W. (2010). Control mechanisms in working memory: A possible function of theta oscillations. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 34: 105-1022.

Schack, B., Klimesch, W., Sauseng, P. (2005). Phase synchronization between theta and upper alpha oscillations in a working memory task. *International Journal of Psychophysiology*, 57: 105-114.

Schimid, R., Tirsch, W., Scherb, H. (2002). Correlation between spectral EEG parameters and intelligence test variables in school-age children. *Clinical Neurophysiology*, 113: 1647-1656.

Sherman, M., Guillery, R. (2002). The role of the thalamus in the flow of information to the cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 357: 1695-1708.

Silva, L., Amitai, Y., Connors, B. (1991). Intrinsic oscillations of neocortex generated by layer 5 pyramidal neurons. *Science*, 251: 432-435.

Sohlberg, M., Mateer, C. (1989). *Introduction to Cognitive Rehabilitation*. New York: Guilfor Press.

Sohlberg, M., Mateer, C. (2001). *Cognitive rehabilitation: An integrative neuropsychological approach*. New York: The Guilford Press.

Somsen, R., van't Klooster, B., van der Molen, M., van Leeuwen, M., Licht, R. (1997). Growth spurts in brain maturation during middle childhood as indexed by EEG power spectra. *Biological Psychology*, 44:187-209.

Stam, C. (2000). Brain dynamics in theta and alpha frequency bands and working memory performance in humans. *Neuroscience Letters*, 286:115-118.

Steriade, M., Gloor, P., Llinás, R., Lopes da Silva, F., Mesulam, M. (1990). Basic mechanisms of cerebral rhythmic activities. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 76:481-508.

Steriade, M., McCormick, D., Sejnowski, T. (1993). Thalamocortical oscillations in the sleeping and arousal brain. *Science*, 262: 679-685.

- Stuss, D., Benson, D. (1984). Neuropsychological studies of the frontal lobes. *Psychological Bulletin*, 95:3-28.
- Stuss, D., Benson, D. (1986). *The frontal lobes*. New York: Raven Press.
- Thatcher, R., North, D., Biver, C. (2005). EEG and intelligence: Relations between EEG coherence, EEG phase delay and power. *Clinical Neurophysiology*, 116: 2129-2141.
- van Beijsterveldt, C., Boomsma, D. (1994). Genetics of the human electroencephalogram (EEG) and event-related potential (ERPs): A review. *Human Genetics*, 94:319-330.
- van Beijsterveldt, C., van Baal, G. (2002). Twin and family studies of the human electroencephalogram: A review and a meta-analysis. *Biological Psychology*, 61:111-138.
- van Beijsterveldt, C., Molenaar, M., de Geus, E., et al. (1996). Heritability of human brain functioning as assessed by electroencephalography. *The American Journal of Human Genetics*, 58:562-573.
- Verbruggen, F., Logan, G. (2009). Models of response inhibition in the stop-signal and stop-change paradigms. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32: 777-810.
- von Stein, A., Rappelsberger, P., Sarnthein, J., Petrsche, H. (1999). Synchronization between temporal and parietal cortex during multimodal object processing in man. *Cerebral Cortex*, 9: 137-150.
- Walker, R., Husain, M., Hodgson, T., Harrison, J., Kennard, C. (1998). Saccadic eye movement and working memory deficits following damage to human prefrontal cortex. *Neuropsychologia*, 11:1141-1159.
- Whittington, M., Faulkner, H., Doheny, H., Traub, R. (2000b). Neuronal fast oscillations as a target site for psychoactive drugs. *Pharmacology & Therapeutics*, 86:171-190.
- Whittington, M., Traub, R., Koppel, N., Ermentrout, B., Buhl, E. (2000a). Inhibition-based rhythms: Experimental and mathematical observations on network dynamics. *International Journal of Psychophysiology*, 38: 315-336.
- Whitehead, R. (1991). Right hemisphere processing superiority during sustained visual attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3:329-335.
- Wolfe, C., Bell, M. (2004). Working memory and inhibitory control in early childhood: Contributions from physiology, temperament and language. *Developmental Psychobiology*, 44: 68-83.

Wróbel, A. (2000). Beta activity: a carrier for visual attention. *Acta Neurobiologiae Experimentals*, 60:247-260.

Zhang, Y., Chen, Y., Bressler, S., Ding, M. (2008). Response preparation and inhibition: The role of the cortical sensorimotor beta rhythm. *Neuroscience*, 238-246.