



Universidad de Guadalajara

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
División de Ciencias Biológicas
Departamento de Ciencias Ambientales

INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS

Correlación electroencefalográfica en niños, adolescentes
y adultos: un paso más hacia el entendimiento de la
ontogenia de la memoria de trabajo

Tesis
que para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIA DEL COMPORTAMIENTO
(ORIENTACIÓN NEUROCIENCIA)**

presenta

Jorge Carlos Hevia Orozco

Comité tutorial

Dr. Miguel Ángel Guevara Pérez (Director)

Dra. Marisela Hernández González

Dra. Esther Olvera Cortés

Dra. Araceli Sanz Martín

RESUMEN

Se sabe que las áreas de la corteza cerebral presentan diferentes etapas de desarrollo conforme avanza la edad. Así mismo, se han realizado muchos trabajos que han estudiado las habilidades cognoscitivas, a través de la ejecución de diferentes tareas neuropsicológicas, que evalúan cómo cambian estas capacidades conforme a la edad, sin embargo muchos de estos trabajos no han evaluado el sustrato neurobiológico que las sustentan. El objetivo del presente estudio fue caracterizar la correlación electroencefalográfica (EEG) entre áreas prefronto-parietales a diferentes edades, y cómo este grado de sincronización cortical se relaciona con una habilidad cognoscitiva, la memoria de trabajo, evaluada a través de los cubos de Corsi. En treinta y seis voluntarios del sexo masculino divididos en tres grupos: de 11 a 13 años (grupo 1), de 18 a 20 años (grupo 2) y de 26 a 30 años (grupo 3) se registró el EEG en áreas frontopolares (Fp1-Fp2), prefrontales dorsolaterales (F3-F4) y parietales (P3-P4) durante condición basal (reposo con ojos abiertos) y durante la ejecución de la tarea cubos de Corsi. Se calculó la correlación tanto intrahemisférica como interhemisférica de las siguientes bandas: delta (1-3.5 Hz), theta (4-7.5 Hz), alfa 1 (8-10.5 Hz), alfa 2 (11-13.5 Hz), beta 1 (14-19.5 Hz), beta 2 (20-30.5 Hz) y gamma (31-50 Hz). Los grupos de mayor edad (2 y 3) tuvieron mayor número de ensayos correctos y una mayor cantidad de elementos retenidos en la memoria (span), en comparación con el grupo 1. En la comparación entre grupos, la correlación entre frontopolares (Fp1-Fp2) y entre prefrontales-dorsolaterales (F3-F4) presentó un incremento en las frecuencias rápidas en los grupos 2 y 3 respecto al grupo 1. Asimismo, una mayor correlación intraprefrontal (Fp2-F4 en alfa2, beta1, beta2 y gamma) y prefrontal dorsolateral- parietal (F4-P4 derecha, en delta, theta, beta1, beta2 y gamma) se presentó en los grupos 2 y 3 con respecto al 1. En la comparación entre condiciones (basal contra cubos de Corsi) la única correlación importante se dio en el grupo 1 (11 a 13 años) entre regiones prefrontales derechas (Fp2-F4 en beta1, beta2 y gamma) y entre las áreas prefrontal dorsolateral y parietal derechas (F4-P4 en alfa1 y alfa2). Estos datos demuestran que conforme avanza la edad,

se alcanza una mayor capacidad de memoria de trabajo. El grado de acoplamiento entre zonas frontopolares y prefrontodorsolaterales (Fp1-F3, Fp2-F4) de los grupos 2 y 3 fue mayor respecto al grupo 1 sólo en el hemisferio derecho durante la ejecución de los cubos de Corsi, apoyando la propuesta de una mayor lateralización hemisférica del lado derecho a mayor edad durante la tarea cognitiva. Ya que los sujetos de mayor edad no presentaron cambios importantes en la correlación entre zonas frontopolares-parietales (Fp-P) y prefrontodorsolaterales-parietales (F-P), se sugiere que a mayor edad no se requiere de un acoplamiento entre áreas frontales y parietales para resolver adecuadamente la tarea de cubos de Corsi. Estos datos pueden contribuir a incrementar nuestro conocimiento acerca de los mecanismos cerebrales que subyacen al desarrollo de la memoria de trabajo.

Abstract

It is well known that different areas of the cerebral cortex go through distinct stages of development as age increases. Numerous studies have examined cognitive skills through performance of various neuropsychological tasks that assess how these abilities change with age. However, many of those studies did not include assessments of the neurobiological substrate on which these abilities are based. Thus, the aim of this study was to characterize electroencephalographic (EEG) correlations among prefrontal-parietal areas at different ages, and how the degrees of cortical synchronization relate to the cognitive ability of working memory, evaluated by the Corsi Block-Tapping Task. The study included thirty-six male volunteers divided into three groups by age: 11-to-13 (group 1), 18-to-20 (group 2), and 26-to-30 years (group 3). EEGs were recorded in two frontopolar (Fp1-Fp2), two prefrontal-dorsolateral (F3-F4), and two parietal (P3-P4) areas during a basal condition (*i.e.*, at rest with eyes open), and execution of the Corsi Block-Tapping Task. Both intrahemispheric and interhemispheric correlations were calculated for the delta (1-3.5 Hz), theta (4-7.5 Hz), alpha1 (8-10.5 Hz), alpha2 (11-13.5 Hz), beta1(14-19.5 Hz), beta2 (20-30.5 Hz), and gamma (31-50 Hz) bands. The older age groups (2, 3) had a higher number of correct trials and retained more items in memory, compared to group 1. With respect to inter-group comparisons, correlations between the frontopolar (Fp1-Fp2) and between the dorsolateral-prefrontal (F3-F4) areas showed increases in the fast frequencies in groups 2 and 3 compared to group 1. Also, greater intraprefrontal (Fp2-F4 in alpha2, beta1, beta2 and gamma) and dorsolateral-prefrontal-parietal (F4-P4 right, delta, theta, beta1, beta2 and gamma) correlations appeared in groups 2 and 3 compared to group 1. In the between-conditions comparison (basal vs. Corsi Cubes), the only significant correlation occurred in group 1 (11-13 years) between right prefrontal regions (Fp2-F4 in beta1, beta2 and gamma) and between the right dorsolateral prefrontal and parietal areas (F4-P4 in alpha1 and alpha2). These data show that working memory capacity increases with age. The degree of coupling between the frontopolar and prefronto-dorsolateral areas (Fp1-F3, Fp2-F4) in groups 2 and 3

was higher than in group 1, but only in the right hemisphere during execution of the Corsi Block-Tapping Task; a finding that supports the suggestion of greater hemispheric lateralization towards the right side during visuospatial cognitive tasks. Since the older subjects showed no significant change in the correlation between the frontopolar-parietal (Fp-P) and prefrontodorsolateral-parietal (FP) areas, it is suggested that they do not require coupling between the frontal and parietal areas to adequately solve this task. This data may contribute to increasing our understanding of the brain mechanisms that underlie the development of working memory.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la oportunidad que me da de conocer (aunque sea solo un poco) el comportamiento humano, a mi familia por su respaldo, a mis mentores por sus enseñanzas, a mis compañeros del laboratorio por su apoyo, a todos, gracias.

Especial agradecimiento para el Dr. Miguel Ángel Guevara y a la Dra. Marisela Hernández González; a mis compañeras Lucia Rizo Martínez y Mayra Almanza Sepúlveda. Su ayuda ha sido invaluable.

“El genio es 2 por ciento inspiración y 98 por ciento transpiración”

Thomas Edison

La presente tesis se realizó en el Instituto de Neurociencias de la Universidad de Guadalajara bajo la tutoría del Dr. Miguel Ángel Guevara Pérez, con apoyo del CONACYT a través de la beca No. 444819

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| Introducción..... | 1 |
| Antecedentes | 3 |
| Memoria..... | 3 |
| Clasificación de la memoria | 6 |
| Memoria de Trabajo..... | 9 |
| Evaluación Neuropsicológica de la memoria de trabajo..... | 12 |
| Cubos de Corsi (Corsi Blocks Tapping Task)..... | 13 |
| Bases neurales de la memoria de trabajo..... | 15 |
| Corteza Prefrontal..... | 15 |
| Corteza parietal | 23 |
| Desarrollo de la Corteza prefrontal y su relación con el desarrollo de la memoria de trabajo | 27 |
| Electroencefalograma..... | 32 |
| Ritmos electroencefalográficos..... | 35 |
| Cambios EEG con el desarrollo cerebral normal | 37 |
| Actividad EEG y memoria de trabajo..... | 42 |
| Planteamiento del problema | 44 |
| Objetivo general | 44 |
| Objetivos Específicos | 45 |
| Hipótesis general | 45 |
| Hipótesis específicas..... | 45 |
| Metodología..... | 46 |
| Participantes..... | 46 |
| Criterios de inclusión | 46 |
| Materiales y método..... | 47 |
| Electroencefalograma..... | 49 |
| Batería de pruebas | 51 |
| Cubos de Corsi..... | 53 |
| Diseño Experimental..... | 54 |

| | |
|------------------------------|----|
| Análisis estadístico..... | 57 |
| Resultados conductuales..... | 58 |
| Discusión..... | 70 |
| Conclusiones..... | 82 |
| Referencias..... | 86 |
| Anexos..... | 98 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Clasificación de la memoria..... | 6 |
| Figura 2. Regiones diferentes del cerebro relacionadas con recuerdos explícitos e implícitos..... | 8 |
| Figura 3. Clasificación de la memoria según su temporalidad..... | 9 |
| Figura 4. Modelo de memoria de trabajo propuesto por Baddeley..... | 11 |
| Figura 5. Cubos de Corsi..... | 15 |
| Figura 6. Mapa citoarquitectónico de la corteza hecho por Brodmann..... | 16 |
| Figura 7. Vistas lateral, ventral (orbital) y medial de la corteza prefrontal indicando las áreas de la clasificación de Brodmann..... | 17 |
| Figura 8. Eje rostro-caudal de la organización de la corteza frontal lateral..... | 18 |
| Figura 9. Eje dorso-ventral de la organización de la corteza frontal lateral..... | 19 |
| Figura 10. Esquema de funcionalidad de la corteza prefrontal..... | 21 |
| Figura 11. Divisiones anatómicas de la corteza cerebral en donde se mencionan las divisiones de la corteza parietal..... | 25 |
| Figura 12. Modelo de conexiones entre la corteza frontal y la corteza parietal posterior..... | 26 |
| Figura 13. Diagrama del desarrollo de la sustancia gris de las cortezas frontales y parietales..... | 29 |
| Figura 14. Sistema 10-20 internacional de colocación de electrodos y su nomenclatura..... | 35 |
| Figura 15. Actividad theta rítmica 6-7 Hz en regiones anteriores en individuos de 10 años..... | 38 |

| | |
|--|----|
| Figura 16. Ondas posteriores de la juventud..... | 39 |
| Figura 17. Cambios en la frecuencia y en la amplitud del ritmo alfa con la edad..... | 40 |
| Figura 18. Participantes..... | 46 |
| Figura 19. Representación de colocación de electrodos de acuerdo a Sistema Internacional..... | 50 |
| Figura 20. Cubos de Corsi pantalla principal versión digitalizada..... | 54 |
| Figura 21. Diagrama temporal del diseño experimental..... | 56 |
| Figura 22. Media ± 2 E.S. del número de elementos retenidos en la memoria, número de respuestas correctas y tiempo total de ejecución durante la resolución de la tarea de Cubos de Corsi..... | 59 |
| Figura 23. Media ± 2 E.S. en valores z de la rTER frontopolar (Fp1-Fp2) durante la condición basal y durante la ejecución de los cubos de Corsi respecto al grupo 1..... | 60 |
| Figura 24. Media ± 2 E.S. en valores z de la rTER prefrontal-dorsolateral (F3-F4) durante la condición basal y durante la ejecución de los cubos de Corsi respecto al grupo 1..... | 60 |
| Figura 25. Media ± 2 E.S. en valores z de la rTRA frontopolar-prefrontodorsolateral izquierda (Fp1-F3) durante la condición basal y durante la ejecución de los cubos de Corsi de los grupos 2 y 3 con respecto al grupo 1..... | 61 |
| Figura 26. Media ± 2 E.S. en valores en z de la rTRA frontopolar-prefrontodorsolateral derecha (Fp2-F4) durante la condición basal y durante la ejecución de los cubos de Corsi de los grupos 2 y 3 con respecto al grupo 1..... | 62 |
| Figura 27. Media ± 2 E.S. en valores en z de la rTRA frontopolar-prefrontal dorsolateral izquierda (Fp1-P3) durante la condición basal y durante la ejecución de los cubos de Corsi de los grupos 2 y 3 con respecto al grupo 1..... | 62 |
| Figura 28. Media ± 2 E.S. en valores en z de la rTRA frontopolar-prefrontodorsolateral derecha (Fp2-P4) durante la condición basal y durante la ejecución de los cubos de Corsi de los grupos 2 y 3 con respecto al grupo 1..... | 63 |
| Figura 29. Media ± 2 E.S. en valores en z de la rTRA prefrontal dorsolateral-parietal izquierda (F3-P3) durante la condición basal y durante la ejecución de los cubos de Corsi de los grupos 2 y 3 con respecto al grupo 1..... | 64 |

Figura 30. Media \pm 2 E.S. en valores en z rTRA prefrontal dorsolateral-parietal derecha (F4-P4) durante la condición basal y durante la ejecución de los cubos de Corsi de los grupos 2 y 3 con respecto al grupo 1.....64

Figura 31. Media \pm 2 E.S. en valores en z de la rTER frontopolar (Fp1-Fp2), en los tres grupos, durante la condición basal y durante la ejecución de cubos de Corsi.....65

Figura 32. Media \pm 2 E.S. en valores en z de la rTER prefrontal dorsolateral (F3-F4), en el grupo uno, durante la condición basal y durante la ejecución de cubos de Corsi.....66

Figura 33. Media \pm 2 E.S. en valores en z de la rTRA frontopolar-prefrontal dorsolateral izquierda (Fp1-F3), en el grupo uno, durante la condición basal y durante la ejecución de cubos de Corsi.....66

Figura 34. Media \pm 2 E.S. en valores en z de la rTRA frontopolar, prefrontal dorsolateral derecha (Fp2-F4), en el grupo uno, durante la condición basal y durante la ejecución de cubos de Corsi.....67

Figura 35. Media \pm 2 E.S. en valores en z de la rTRA frontopolar-parietal izquierda (Fp1-P3), en los grupos uno, dos y tres, durante la condición basal y durante la ejecución de cubos de Corsi.....67

Figura 36. Media \pm 2 E.S. en valores en z de la rTRA frontopolar-parietal derecha (Fp2-P4), en los grupos uno y tres, durante la condición basal y durante la ejecución de cubos de Corsi.....68

Figura 37. Media \pm 2 E.S. en valores en z de la rTRA prefrontal dorsolateral-parietal izquierda (F3-P3), en los tres grupos, durante la condición basal y durante la ejecución de cubos de Corsi.....68

Figura 38. Media \pm 2 E.S. en valores en z de la rTRA prefrontal dorsolateral-parietal derecha (F4-P4), en el grupo uno, durante la condición basal y durante la ejecución de cubos de Corsi.....69

Introducción

La memoria de trabajo es el sistema con capacidad limitada que permite el almacenamiento temporal de la información, así como su manipulación. Esta es necesaria para realizar tareas complejas como la comprensión, el aprendizaje, la solución de problemas, la planeación, etc (Baddeley, 2000). Para explicar la memoria de trabajo, se han propuesto varios modelos, sin embargo el más aceptado es el propuesto por Baddeley y Hitch (Baddeley y Hitch, 1974), en el que se explica el papel que juega la información temporalmente almacenada para la realización de tareas cognitivas complejas (Baddeley, 2000) y el cual está formado por un sistema ejecutivo, un retén visoespacial, un bucle fonológico y un buffer episódico, que trabajan en conjunto para realizar tareas complejas (Baddeley & Hitch, 1974).

Se ha demostrado, a través de diversos estudios, que la corteza prefrontal dorsolateral derecha (CPF DL Derecha) es la región de la corteza frontal que principalmente se relaciona con la memoria de trabajo visoespacial que evalúa los patrones de orientación o movimiento de los objetos que son percibidos por medios visuales (Pollman & von Cramon, 2000). También existe evidencia de que en la memoria de trabajo visoespacial, existe una fuerte activación de las redes prefronto-parietales y que el uso del electroencefalograma proporciona información importante en la determinación de estas redes (McEvoy et al 2001).

La memoria de trabajo visoespacial se puede evaluar a través de diversas pruebas neurpsicológicas, sin embargo, una de las más utilizada desde hace 30 años en clínica y en investigación son los cubos de Corsi (Block-TappingTask), en los cuales el sujeto requieren mantener en la memoria de corto plazo información referente a la imagen de los cubos y además de la información de los patrones de secuencia de movimientos de los cubos (Orsini, 1994). Cabe mencionar que ésta capacidad se modifica notablemente con la edad (Diamond, 2002).

La técnica electroencefalográfica es una herramienta no invasiva que permite detectar, amplificar y registrar la actividad eléctrica cortical durante la

activación de ésta en respuesta a exigencias cognoscitivas del medio ambiente.

La correlación es un índice matemático que se usa en la electroencefalografía, que permite determinar la covariación entre dos señales como una función de tiempo sin tomar en cuenta la amplitud. Esta técnica se puede utilizar para determinar el grado de acoplamiento funcional entre dos regiones cerebrales mientras éstas, participan en la producción de determinada habilidad mental. Lo anterior sería de gran ayuda para el conocimiento del desarrollo cortical y su relación con el desarrollo de la memoria de trabajo mientras participantes de diferentes edades realizan una tarea que evoque esta función.

1Antecedentes

Memoria

La memoria es un sistema de almacenamiento y de recuperación de información y ésta es el prerrequisito del aprendizaje (Gumá, 2001). El aprender es un proceso mediante el cual los organismos se adaptan al medio ambiente complejo en el que viven y esto afecta su conducta haciéndola maleable para su supervivencia (Morgado, 2005). El recinto de las ideas aprendidas es la memoria de tal forma que se requiere cierta plasticidad en ésta para ir aumentando los conocimientos permanentes (Morgado, 2005). Se es parte de lo que se aprende o se recuerda ya que la memoria es parte esencial de lo que determina la conducta, esto es, la memoria es la capacidad que tiene el organismo de beneficiarse de sus experiencias anteriores a través de la adquisición, la retención y el uso de la información adquirida en el pasado (Tulving, 1987).

Cuando un individuo actúa en base a una experiencia pasada aprendida, manifiesta la actividad interactiva de representaciones intracerebrales activadas por señales internas o externas (Gumá, 2001). De esta reflexión surge la pregunta ¿Qué es la memoria y dónde se encuentra almacenada? Estas han sido preguntas que el hombre ha intentado contestar desde hace más de 200 años y durante mucho tiempo, las definiciones de memoria se basaron en discursos filosóficos o intuiciones psicológicas y no fue sino hasta el inicio de experimentos biológicos que buscaban determinar la manera en la cual se forma la memoria, que se obtuvo luz acerca del tema (Squire, 2004). Hoy día, la psicología ha madurado lo suficiente como para estar en disposición de conectar los conceptos de memoria con bases biológicas neuroanatómicas y para considerar que las expresiones de estas, podrían estar reflejando sistemas funcionales que reflejen capacidades mentales como la memoria y esto hace que las definiciones referentes a este tema, estén más basadas en métodos replicables y cuantificables y no meramente en terminologías intuitivas (Squire, 2004). Esta visión del tema se concretó más

cuando Hebb (1949), demostró que la memoria tiene sus bases en circuitos cerebrales y que esas conexiones son las representaciones de la información, en lugar de considerar a un solo órgano como el originador de esta función (Hebb, 1949).

Uno de los primeros pacientes en ser estudiados detalladamente dentro de las investigaciones referentes a la memoria, fue el reportado por Brenda Milner, (1958) (Scoville & Milner, 1957). Scoville y Milner estudiaron el caso del paciente H.M. el cual presentaba una pérdida de la memoria reciente con una aparente ausencia de cualquier otra pérdida intelectual, al ser sometido a una resección quirúrgica bilateral de las estructuras mediales de los lóbulos temporales, para tratar crisis epilépticas que no presentaba mejoría al tratamiento médico (Corsi, 1972). Él había perdido la capacidad para integrar memoria de corto plazo a la memoria de largo plazo (Corsi, 1972). De este estudio se derivó el conocimiento de que la integridad del lóbulo temporal y más específicamente, de estructuras como el hipocampo, el giro dentado, el complejo subicular, la corteza entorrinal, y las cortezas perirrinal y parahipocampal medio, es necesaria para el buen funcionamiento de la memoria (Squire & Zola-Morgan 1991). Del reporte de este caso se pudo determinar también que la memoria no es una entidad unitaria y tampoco que proviene solamente de una estructura, sino que están implicadas diversas regiones cerebrales (Squire, 2004).

La neuropsicología es el área de la psicología que une las funciones cerebrales y la conducta humana y ha adoptado el término de sistemas para aquellas estructuras cerebrales que tienen un correlato conductual (Tulving, 1987). Toda información en cualquier sistema de memoria natural (o artificial) debe de pasar tres etapas de procesamiento para su ejecución (Gumá, 2001): codificación (retención), almacenamiento y evocación (recuperación) de la información (Roselli, et al, 2010).

La codificación es la forma en la cual llega el estímulo previamente seleccionado por el organismo y esto depende del foco de atención del organismo en el momento de selección (Roselli, et al, 2010).

Posterior a la etapa de codificación empieza el almacenamiento, el cual inicia con la activación de la memoria a corto plazo (Roselli, et al, 2010). Este tipo de memoria representa un almacenamiento temporal de la información la cual desaparece a menos que sea reforzada, siendo esta información, vulnerable a verse afectada fácilmente por la influencia del medio, ya que el almacenamiento en esta etapa es muy frágil (Roselli, et al, 2010).

La última etapa en el proceso de la memoria es la evocación o recuperación de la información. Significa la obtención de la información, previamente almacenada, en el medio interno, para su utilización en determinada situación siendo esta recuperación de manera controlada o desencadenada por algún estímulo que se asocie con la información necesaria (Roselli et al, 2010).

Posterior a la etapa de la memoria a corto plazo inicia la etapa de memoria a largo plazo, estando implicado en esta etapa un reforzamiento en la información de tal forma que existe una consolidación de los datos percibidos en las primeras etapas. Este proceso tiene un tiempo variable de tal forma que la duración para que se alcance esta etapa puede ser de días, semanas o años (Roselli, et al, 2010).

Los cambios neuronales que se producen en los circuitos que forman la memoria, se dan a raíz de modificaciones químicas, eléctricas y estructurales. Las modificaciones nivel sináptico, se dan acorde al tipo de memoria necesaria para el organismo, como por ejemplo, en la habituación se da una depresión homosináptica con sucesiva disminución en la cantidad de neurotransmisores o el aumento de neurotransmisores por la facilitación heterosináptica que se da en la sensibilización (Guma, 2011).

Todos estos cambios a nivel celular originan diferentes formas en la expresión de la memoria de tal forma que ésta se puede clasificar dependiendo de las necesidades de medición. Es indispensable hacer una breve explicación debido a que cada una de estas clasificaciones, tienen inferencia en la memoria de trabajo, que es el objeto de estudio de este trabajo.

Clasificación de la memoria

La clasificación más grande de la compleja organización de la memoria se da en base a sistemas, los cuales son estructuras neurales organizadas con sus respectivos correlatos cognoscitivos, entrelazadas por componentes compartidos entre sí, pero también con componentes exclusivos de cada uno. La activación de determinado sistema hace posible que los organismos desempeñen adecuadamente tareas que impliquen el uso de la memoria, lo cual implica la activación de los componentes que forman dicho sistema (Tulving, 1985). Estos sistemas participan en el análisis perceptual y emocional de los estímulos y en la representación cerebral de los mismos (Gumá, 2001). Tulving reconoce tres grandes sistemas de la memoria: procedural, semántica y episódica (Tulving, 1985). Cohen y Squire en 1980, al postular las formas de procesar y almacenar la información, se enfocaron en el conocimiento del “que” y del “como” y coincidieron con Tulving en las formas de adquisición de la memoria y propusieron una división de esta: a través del sistema de memoria declarativa (consciente o explícita) y a través del sistema de memoria no declarativa (inconsciente o implícita) (Cohen & Squire, 1980) (ver Figura 1).

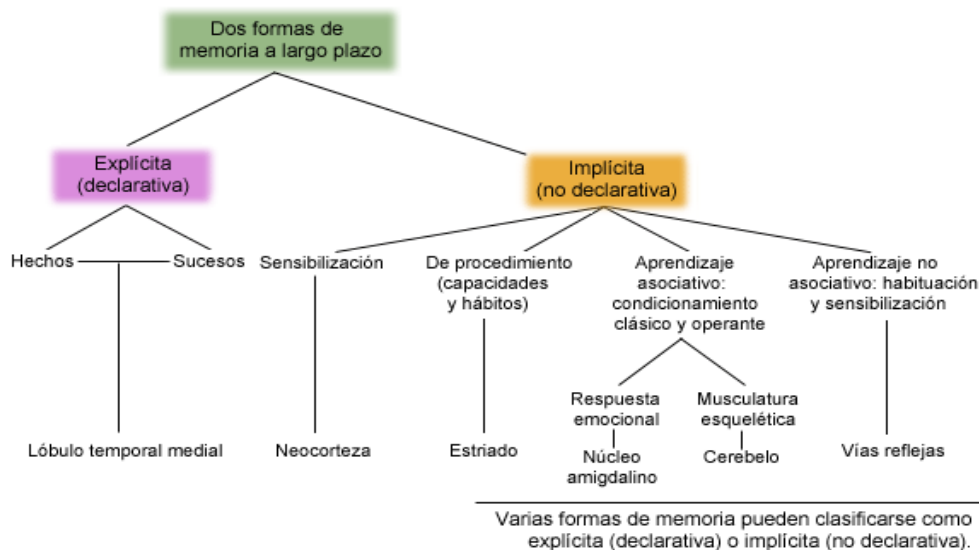


Figura 1. Clasificación de la memoria en la cual se explican las divisiones de la memoria explícita e implícita, sus formas de expresión y las estructuras nerviosas que las sustentan (Tomado de Cohen & Squire 1980).

La memoria declarativa depende de la integridad del lóbulo temporal medio y tiene la capacidad de recolectar la información de manera consciente (Milner, et al 1998) y es la forma en la que se conocen a las personas, los lugares y las cosas (ver Figura 2). Se subdivide en memoria episódica (memoria que implica un código temporal y espacial) y memoria semántica (memorias que implican un código verbal). La memoria episódica provee la capacidad de la adquisición y retención del conocimiento de las experiencias personales conscientes y la relación temporal entre estas, desde la perspectiva de tiempo personal y también provee la capacidad de retroceder mentalmente en el tiempo para obtener dicha información (Tulving, 1987). Este tipo de memoria requiere la participación de sistemas cerebrales (adicionales a aquellos que sustentan la memoria semántica) como los lóbulos frontales (Tulving, 1989). La memoria no declarativa es inconsciente y tiene la capacidad de proveer habilidades de manera inconsciente a través de la repetición continua (Milner 1998). Se obtiene a través del desempeño y no de la recolección (Squire, 2004). Aparece normalmente en el entrenamiento de capacidades reflejas motoras o perceptivas. Ejemplos de esto son la habituación, sensibilización y el condicionamiento clásico. Este tipo de memoria se ve afectada con la lesión del núcleo caudado (Packard et al, 1989; Knowlton et al, 1996).

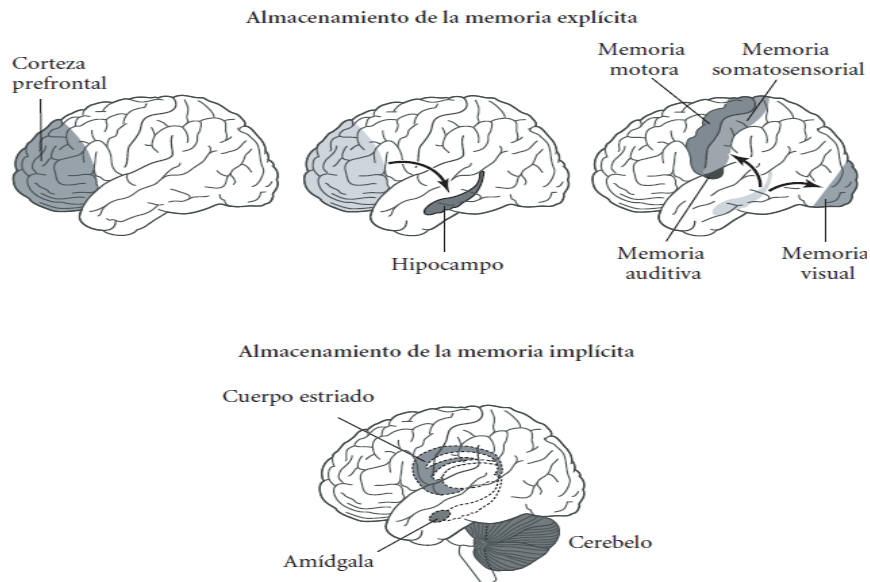


Figura 2. Los recuerdos explícitos y los implícitos se procesan y almacenan en regiones diferentes del cerebro. A corto plazo, la memoria explícita relativa a personas, objetos, lugares, hechos y sucesos se almacena en la corteza prefrontal. Estos recuerdos se convierten en recuerdos de largo plazo en el hipocampo y luego se almacenan en las distintas zonas de la corteza correspondientes a los sentidos involucrados originalmente: es decir, en las mismas áreas que procesaron la información en su origen. La memoria implícita relativa a destrezas, hábitos y condicionamientos se almacena en el cerebelo, el cuerpo estriado y la amígdala (Tomado de Kandel, 2007)

La memoria, según su temporalidad, ha sido estudiada desde el siglo XIX, cuando William James consideró a la memoria primaria como al tipo de memoria que alude al mantenimiento en la conciencia de todo aquello que está sucediendo y tiene el foco de la atención y se refiere al termino memoria secundaria como aquella que se ha almacenado por un largo período de tiempo y que requiere recuperarse para ser utilizada (James, 1890). En la neuropsicología, en relación a la temporalidad de la memoria, se usa la clasificación de tres categorías temporales: sensorial, que se refiere a órdenes de fracciones de segundos; a corto plazo que se refiere al almacenamiento de información por segundos, hasta no más de un minuto, que incluye la capacidad de mantener y manipular la información que se procesa simultáneamente, como en la memoria de trabajo y la de largo plazo que tiene una temporalidad de más de 60 segundos (ver Figura 3) (Gumá, 2001).

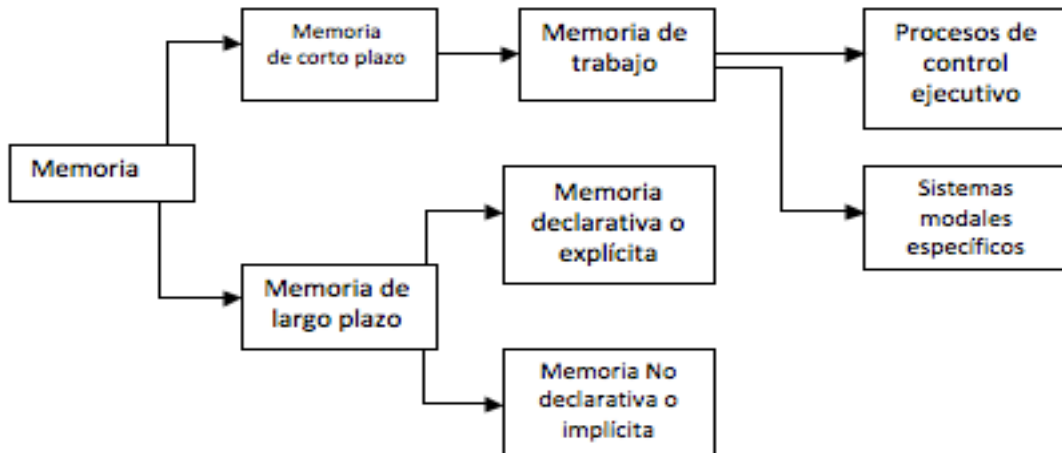


Figura 3. Clasificación de la memoria según su temporalidad (Buskist & Gerbing, 1990)

La memoria de trabajo es una función de la *memoria declarativa de corto plazo* que permite procesar información de manera simultánea y que es indispensable para la realización de tareas con una meta y que incluye el mantenimiento y la manipulación de la información adquirida por los sentidos. Es importante mencionar que la memoria de trabajo es una variedad de la memoria de corto plazo, sin embargo no son sinónimos (Gumá, 2001). A continuación se detallará acerca del tema.

Memoria de Trabajo

El término memoria de trabajo fue propuesto en 1960 por Miller, Galanter & Pribram en su libro “Planes y la estructura del comportamiento” (Miller, Galanter, Pribram, 1960). Ellos al pensar acerca de la organización del comportamiento y el control de las acciones humanas, pensaron en la memoria de trabajo como un plan posterior a una decisión que interfiere con la conciencia y que se coordina con otros planes para ejecutar una acción y que éste plan tiene un alojamiento en las regiones frontales del cerebro (Miller, et al 1960).

La psicología cognoscitiva ha adoptado el término de memoria de trabajo para abarcar el sistema o los sistemas involucrados en el mantenimiento y en la

manipulación de la información que permiten que la información se mantenga en un estado accesible de una manera temporal, al servicio de alguna tarea mental (Cowan, 1998).

Baddeley y Hitch (1974) han propuesto un modelo para explicar la memoria de trabajo el cual está compuesto por tres componentes: un bucle fonológico, un bloque visoespacial, un buffer episódico y una central ejecutivo que controla la capacidad de atención (ver Figura 4).

El central ejecutivo trabaja como un sistema de control atencional cuya función es coordinar dos o más sistemas simultáneamente de tal forma que el sujeto pueda realizar dos tareas al mismo tiempo (Baddeley & Hitch 1994). Esto se demostró a través de la observación de pacientes con Alzheimer ya que estos eran incapaces de realizar dos tareas al mismo tiempo (fonológicas y visoespaciales) (Baddeley, et al, 1986).

El central ejecutivo tiene cuatro funciones importantes: coordinar el desempeño en dos tareas separadas, cambiar las estrategias de recuperación, atender a un solo estímulo e inhibir los efectos de distracción de otros y mantener y manipular información en la memoria de largo plazo, que refleja el rango de la memoria de trabajo (Baddeley, 1996b).

El bloque visoespacial está subdividido en dos componentes: uno especializado en la localización espacial de la información y otro en la identificación de la información visual (Logie, 2005). El componente visual (o el escondite visual) actúa como una memoria pasiva de almacenaje que puede guardar información de manera temporal acerca de los patrones visuales estáticos y el componente espacial (la escritura interna), actúa como un mecanismo de reforzamiento de la información de movimientos o secuencias de movimientos y la retención de ésta (Rudkin, 2007).

El modelo de memoria de trabajo comprende un bucle fonológico para almacenar información y comprende dos componentes: el almacenamiento fonológico y el de sistemas de reforzamiento articulatorio (Baddeley 2000). Estos funcionan conjuntamente cuando la información que es percibida se almacena

solo por dos segundos o cuando otra información verbal interfiere con el almacenamiento de la información, a menos que sea fortalecida por el sistema reforzador a través de un apoyo subvocal o con un evocamiento continuo del contenido almacenado (Baddeley, 2000).

Otro elemento de este modelo es el buffer episódico y se refiere a un sistema de capacidad limitada que provee un almacenamiento temporal de la información de codificación multimodal, que tiene la capacidad de integrar información proveniente de diferentes sistemas subsidiarios, para formar memoria de largo plazo, dentro de representaciones episódicas unitarias (Baddeley 2000).

En el punto más inferior del modelo se encuentra la memoria episódica que toma información de la memoria de largo plazo para la formación de las nuevas acciones enfocadas a una meta (Fuster, 2002).

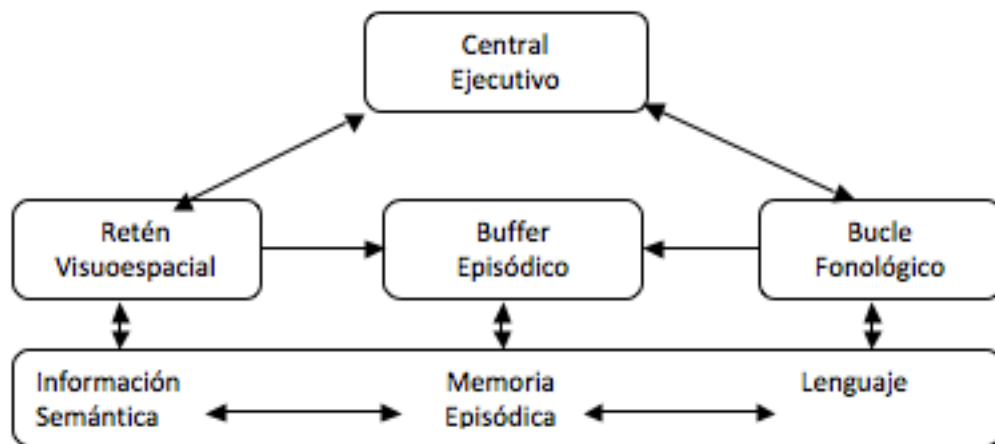


Figura 4. Modelo de memoria de trabajo propuesto por Baddeley en el cual se explica los 4 componentes que lo conforman (Baddeley & Hitch, 1974).

La memoria de trabajo tiene diversas funciones ya que hace importantes contribuciones a procesos cognoscitivos como el razonamiento, la comprensión del lenguaje, la planeación y el procesamiento espacial (Baddeley 1986b). También tiene una función coordinadora de la información procedente de variadas fuentes para cooperar en la organización perceptual al integrar múltiples

modalidades de la información sensorial para establecer las representaciones cerebrales; también a través de la extracción de información de los almacenes de la memoria episódica, permite usar la información previamente aprendida para solucionar problemas del presente y además, permite obtener las representaciones de eventos sucedidos en el pasado para compararlos y formular nuevos planes (Gumá, 2001).

La memoria de trabajo presenta modificaciones con el transcurso del desarrollo del individuo que le permite un desempeño diferente en las situaciones que se le presentan cotidianamente y en las tareas neuropsicológicas que se utilizan para evaluar esta función, por lo que a continuación se detallará más acerca del tema.

Evaluación Neuropsicológica de la memoria de trabajo

Existen pruebas neuropsicológicas que pueden determinar las habilidades visoespaciales de un individuo. Comúnmente estas pruebas que evalúan la memoria de trabajo, son pruebas que exigen un esfuerzo mental secuencial “en línea” mientras que en ocasiones se requiere que el sujeto repita secuencias de objetos o letras en orden inverso para evaluar la manipulación de la información, como la que se da en la memoria de trabajo. Entre ellas está la prueba de Wechsler (2001), en la que se presentan series progresivas de letras y números y posteriormente estas deben ser ordenadas diciendo primero los números y luego las letras.

Dentro de las evaluaciones neuropsicológicas desarrolladas para evaluar infantes se encuentra la prueba de Mr. Peanut que busca medir su capacidad de memoria de trabajo. Esta prueba consiste en la presentación de una figura de un payaso (en forma de cacahuete) coloreada de múltiples colores, misma que posteriormente es retirada y sucesivamente se le presenta al niño la misma figura pero sin los colores y el niño debe de recordar la ubicación de los colores previamente presentados (Kemps, 2000).

Otra prueba para evaluar la memoria visoespacial es la de n 2-back modificada, en la cual se le presenta a través de una pantalla, a un sujeto, un bloque con una consonante en un lugar específico, dentro de una serie de bloques y el cual requiere señalar si la posición ocupada por la consonante dentro de ese bloque, ocupa el mismo lugar de una consonante en un bloque, tres o cuatro bloques atrás en la secuencia, dependiendo del grado de dificultad que se le quiera aplicar a la prueba (Gevins, 1997).

Otra prueba es la realizada por Thomason (2009) en la cual a los participantes primero se les presentaba un grupo de círculos alrededor de una cruz presentada en el centro de la pantalla (codificación) y después de 1 segundo de retraso, a los participantes se les mostraba un solo círculo en la misma pantalla y el participante debía recordar (recuperación) si este segundo círculo se desplegaba en la misma localización de alguno de los patrones previos. El número de imágenes y el tiempo de retraso era variable (Thomason, 2009).

Cubos de Corsi (Corsi Blocks Tapping Task)

Esta prueba ha sido utilizada ampliamente tanto en la clínica como en la investigación en sujetos sanos o con daños cerebral para evaluar la memoria no verbal. Fue elaborada por Philips Corsi en 1972, con el fin de evaluar clínicamente a los pacientes con deficiencias en la retención de información no verbal, como resultado de la escisión del lóbulo temporal medial derecho como tratamiento de crisis epilépticas, de diversas etiologías, que no podían ser controladas por medicamentos (Corsi, 1972). Esta prueba fue creada para evaluar la memoria espacial y el paso de información no verbal de la memoria de corto plazo a la de largo plazo sin embargo ha sido aceptada en la neuropsicología como una de las principales tareas que evalúa la memoria espacial (Orsini 1994) puesto que es una prueba análoga a la prueba Digit Span del Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS-R) diseñada para evaluar la memoria de trabajo verbal, en la cual se evalúa en orden progresivo (memoria inmediata) y regresivo (memoria de trabajo), por lo tanto es adecuado evaluar el mismo orden de doble secuencias en la prueba de Cubos de Corsi, de tal forma que se puede argumentar que en el orden

progresivo, se está evaluando el mantenimiento de la información espacial por un corto período de tiempo de tal forma que se podría estar evaluando el bloque visoespacial, postulado por Baddeley y Hitch (1974) en su propuesta de modelo de memoria de trabajo (Kessels, 2008) y además, en el modo inverso, se evalúa el central ejecutivo, debido al mantenimiento y la manipulación de la información (Kessels, 2008). Se asume que evalúa la memoria de trabajo espacial porque la tarea requiere de recordar el orden secuencial de los cubos, lo cual involucra la codificación, el mantenimiento de la secuencia de los objetos y el orden en el cual aparecen (Rudkin, 2007).

La prueba está conformada por una superficie regular y uniforme (23 x 28) con una serie de 9 ó 10 cubos (3 x 3 x 3) de las mismas dimensiones y del mismo color, separadas una de otra. Cada uno de estos cubos tiene un número como parte de una numeración secuencial, sin embargo estos números no están a la vista del sujeto, sino solamente a la vista del examinador. La cantidad de cubos en la superficie es de 9 a 10 cubos. La tarea empieza cuando el examinador toca varios cubos siguiendo un orden de secuencia particular. El sujeto debe recordar la secuencia hecha por el examinador y realizarla tocando los mismos cuadros y en el mismo orden (memoria inmediata). El número de cubos que integran la secuencia, debe de ir en aumento gradualmente hasta abarcar todos los cubos de la superficie. La dinámica de la tarea permite evaluar la manipulación de la información en la memoria de trabajo, por lo que se indica al sujeto que realice la misma secuencia hecha por el examinador, en un sentido inverso. Lo que se mide en esta prueba es el número de bloques marcados correctamente en la secuencia más larga y número secuencias realizadas correctamente (ver Figura 5) (Corsi, 1972)

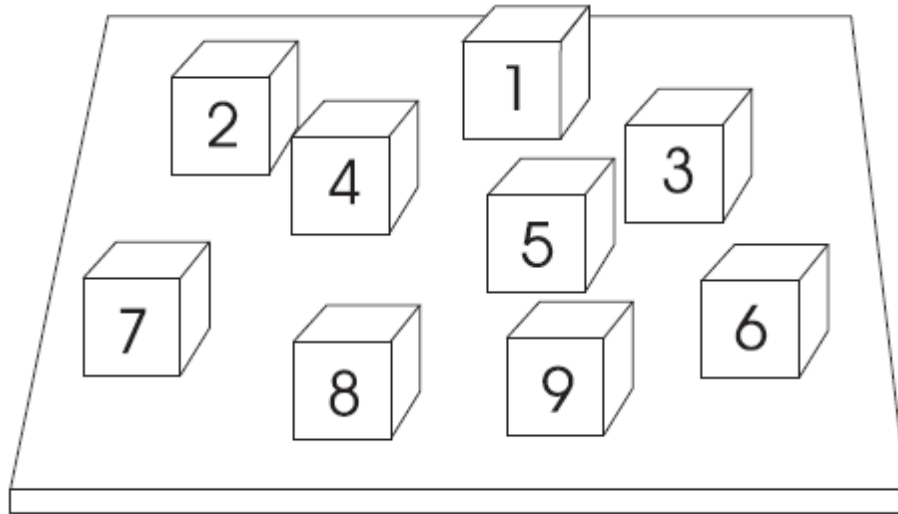


Figura 5. Cubos de Corsi. El examinador toca secuencialmente un número determinado de cubos y el individuo debe de realizar la misma secuencia (Tomado de Kessels, 2008).

Al realizar la tarea de Cubos de Corsi, se activan diferentes sustratos neurales en diferentes zonas corticales e subcorticales que son indispensables para utilizar la memoria de trabajo espacial. A continuación se analizan a detalle estos sustratos neuronales.

Bases neurales de la memoria de trabajo

Corteza Prefrontal

La corteza prefrontal (CPF) es la corteza de asociación del lóbulo frontal y es la parte más frontal de este (Fuster, 2002). Según su conectividad, se puede definir como la parte de la corteza cerebral que recibe proyecciones del núcleo medio dorsal del tálamo (Fuster, 2008).

Uno de los primeros en delimitar a la CPF fue Brodmann (1909), quien la definió como el “área prefrontalis”, que correspondía al 29% del total de la corteza cerebral humana (Brodmann, 1912). Se ha afirmado que ocupa la mayor parte de la corteza cerebral humana, en mayor proporción que en otros animales, lo cual

sugiere que contribuye a las capacidades cognitivas que distinguen al humano de otras especies (Fuster, 1995).

Esta representación, se acerca mucho a lo que hoy se considera como Corteza Prefrontal (ver Figura 6).

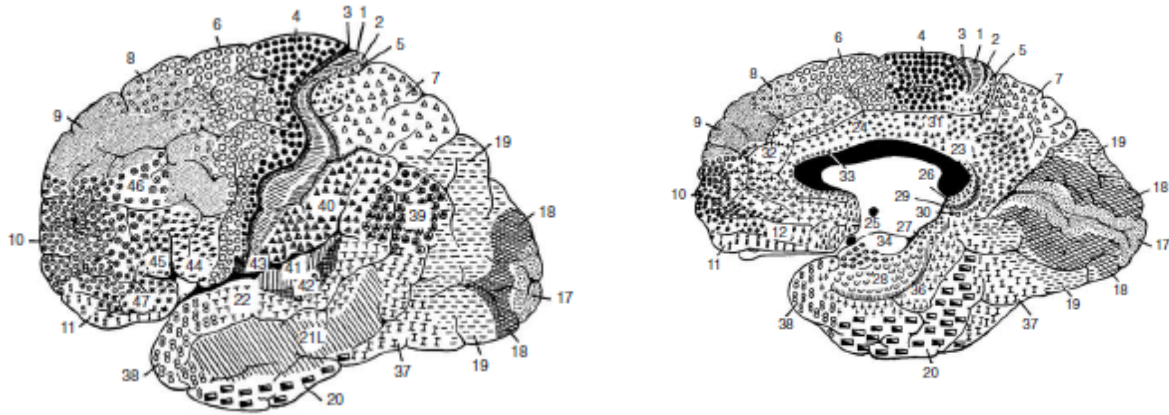


Figura 6. Mapa citoarquitectónico de la corteza hecho por Brodmann (De Pandya y Yeterian1990b) tomado de Fuster, 2008.

La corteza prefrontal tiene tres grandes divisiones: Lateral, media y orbital (ver Figura 7) (Fuster, 2001). La corteza prefrontal orbital constituye las áreas 11 y 13 de Brodmann y está relacionada con el sistema límbico, la regulación de las emociones y del comportamiento social de las personas (Damasio et al, 1991). La corteza prefrontal medial/cingulada corresponde a las áreas de Brodmann 8, 10, 12, 24 y 32. Al estar asociada al sistema límbico, está implicada en el control de emociones y en el sistema autónómico (Fuster, 2008). También está relacionada con la inhibición, la atención y la detección y solución de conflictos.

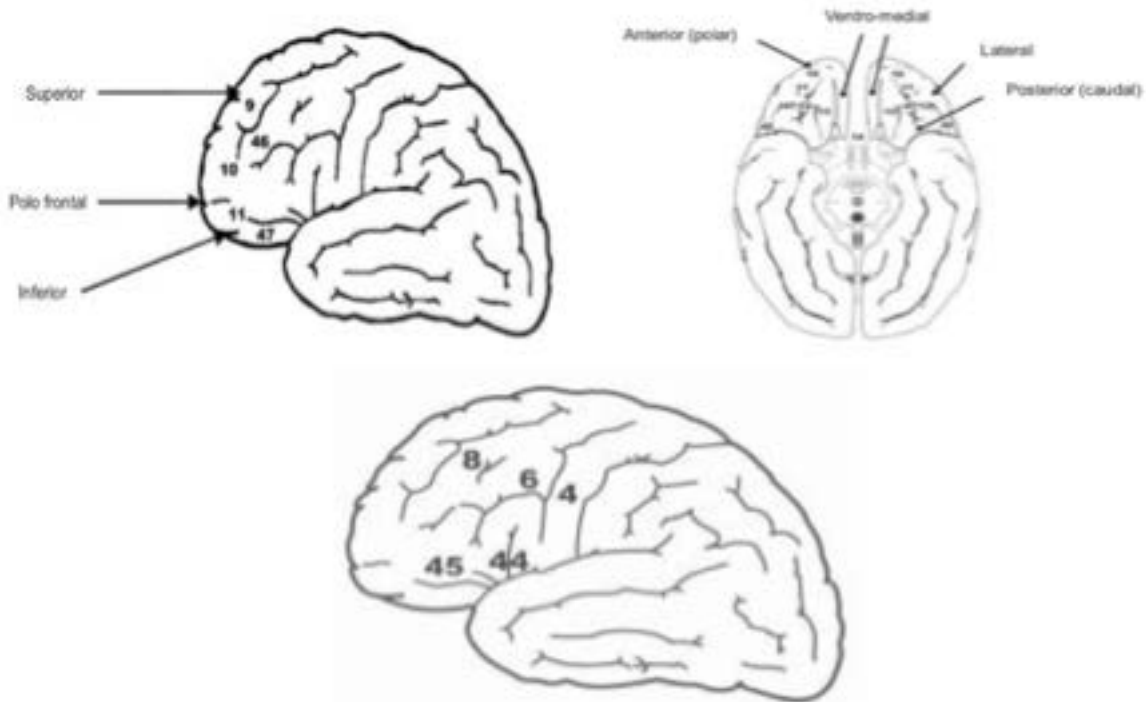


Figura 7. Vistas lateral, ventral (orbital) y medial de la corteza prefrontal indicando las áreas de la clasificación de Brodmann (Ardila & Ostrosky 2008).

La corteza prefrontal lateral (CPFL) es la corteza de la convexidad lateral del lóbulo frontal y barca las áreas 8,9, 10 y 46 de Brodmann (Fuster, 2008). Esta área de la CPF es la que se relaciona más directamente con la memoria de trabajo. Más específicamente, la CPF Lateral se divide en dos regiones: Dorsal (CPF DL) y Ventral (CPF VL) (Petrides, 2005).

La CPF DL que se encuentra dentro de la corteza frontal anterior, tiene dos grandes divisiones: caudal y medial. Cada una de estas regiones tiene conexiones que le permiten integrar diferentes funciones cognitivas. La Caudal comprende las áreas de Brodmann 8A y 6, y la Medial comprende las áreas 46, 9/46 y 9. La CPF DL Medial, que es el área más importante para la memoria de trabajo forma parte de un eje de transferencia de información propuesto por Petrides en el 2005 en el que forma parte de un eje rostro- caudal que le permite conexiones con la corteza

parietal posterior media y lateral para el procesamiento espacial de la información y con el lóbulo parietal superior para el procesamiento cinestésico a través de la región frontal caudolateral, para hacer la evaluación visual (Petrides, 2005) (ver Figura 8).

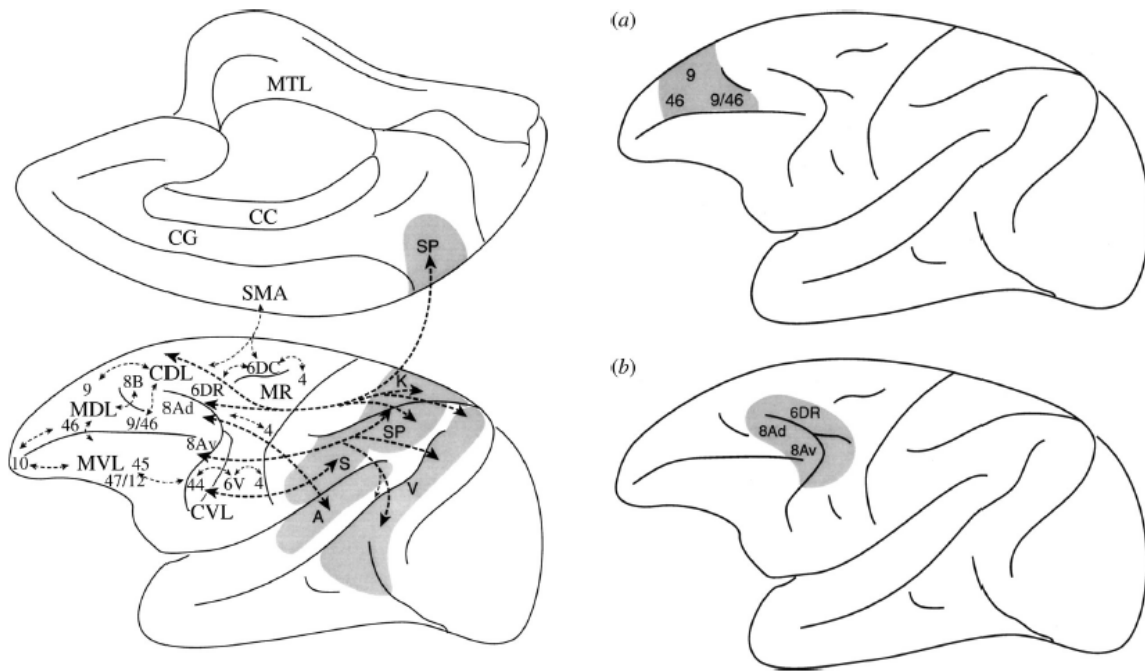


Figura 8. Diagrama esquemático del cerebro del mono que ilustra el eje rostro-caudal de la organización de la corteza frontal lateral. Algunas de las interacciones de la región frontal lateral caudal con regiones corticales post-rolandicas se muestran con líneas punteadas gruesas y las interacciones entre la misma corteza frontal lateral con líneas punteadas delgadas. Abreviaciones: A, procesamiento auditivo en el giro temporal superior; CC, cuerpo calloso; CDL, región frontal caudolateral; CG, giro del cíngulo; CVL, región frontal ventrolateral caudal; K, procesamiento quinestésico en el lóbulo parietal superior; MDL, región prefrontal dorsolateral media; MR, región motora; MTL, lóbulo temporal medio; MVL, región prefrontal ventrolateral media; S, procesamiento amodal en el lóbulo parietal inferior; SMA, área motora suplementaria; SP, procesamiento espacial en la corteza parietal posterior media y lateral; V, procesamiento visual en corteza preestriada y la región cortical temporo-occipital. El número se refiere al área arquitectónica en la corteza frontal lateral (Tomado de Petrides, 2005).

La CPF DL Medial también forma parte, según el modelo de Petrides (2005) del eje dorso-ventral el cual mantiene relación estrecha con regiones de asociación posteriores en donde aparentemente la información se mantiene de manera activa

para posteriormente pasar a la CPF DL Medial en donde se puede realizar la manipulación de la información en caso de que una tarea o una situación así lo requiera (Petrides, 1996).

Con respecto a la intervención de la CPF DL Medial en la memoria de corto plazo sus axones se dirigen a la región caudal del giro del cíngulo y la corteza retroespinal para luego enviar conexiones a la región hipocampal y es a través de esta misma vía que la región frontopolar (área 10 de Brodmann) ejerce influencia en esta función. Esta vía es probablemente la base anatómica para que la CPF DL ejerza efecto sobre la memoria de trabajo (Morris et al., 1999A) (ver Figura 9).

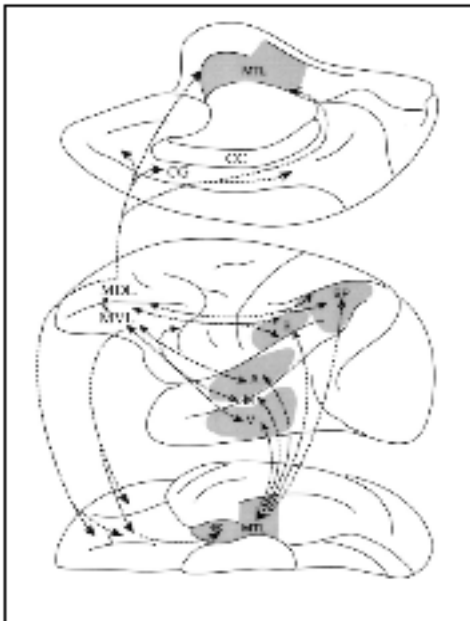


Figura 9. Diagrama esquemático del cerebro del mono representando el eje dorso-ventral de la corteza frontal lateral. Algunas de las interacciones que se postula que tiene la CPF DL Medial y la CPF VL Media. Abreviaciones: A, procesamiento auditivo en el giro temporal superior; CC, cuerpo calloso; CG, giro del cíngulo; ec, corteza entorrinal; M, procesamiento multimodal en la corteza temporal superior; MTL, región del lóbulo temporal medial; S, procesamiento amodal del lóbulo parietal posterior rostral; SP, procesamiento espacial de la corteza parietal posterior; V, procesamiento visual de los objetos en la corteza infero temporal rostral (Tomado de Petrides, 2005).

Otra región de la CPF que se encuentra relacionada con la memoria de trabajo es el área 10 prefrontal o frontopolar ya que muchas tareas han demostrado que esta región de la corteza prefrontal presenta activación durante el proceso de monitoreo y manipulación de la información (Christoff, 2000). La corteza frontopolar es la región más anterior de la región prefrontal y pocos estudios se han enfocado en el área prefrontal anterior, lo cual hace que se conozca poco acerca de esta región incluyendo acerca de su extensión anatómica, sin embargo la aproximación más acertada es el considerar como frontopolar a todas aquellas

activaciones que se ubican en el área 10 de Brodmann, aunque parte de esta área abarca también la corteza prefrontal medial y la corteza prefrontal orbitofrontal (Chirstoff, 2000).

La CPF está compuesta por 6 capas, acomodadas de manera paralela a las meninges cerebrales, y cada una de ellas están formadas por diferentes tipos de células y se encuentran formando conexiones con múltiples estructuras corticales y subcorticales para determinar una función. La capa IV, una de las más importantes por su marcada relación aferente y eferente con el núcleo medio dorsal del tálamo, está constituida por células piramidales (Fuster, 2008).

Con respecto a los neurotransmisores que contiene la CPF, se sabe que el glutamato es el más abundante (Kim et al., 1977) y el principal neurotransmisor excitador que contienen las células piramidales de proyección de las conexiones eferentes de la CPF especialmente con el hipocampo, mientras que GABA es el principal neurotransmisor de las conexiones locales (Fuster, 2008).

El hombre percibe constantemente información del medio que le rodea y es necesario un centro que coordine eficazmente esa información y la combine con información del medio interno, que le permita generar una reacción motora como parte de un comportamiento (Miller & Cohen, 2001). Existen respuestas motoras del cuerpo que son instantáneas y determinadas por la intensidad del estímulo externo y se les llaman “inferior – superior”, (por su nombre en inglés bottom – up) sin embargo la acciones que requieren de un procesamiento interno más complejo en búsqueda de un objetivo en particular, requieren representaciones internas del medio externo, que requieren un control cognoscitivo que permita integrar toda la información necesaria para llevar a cabo esa acción (Miller & Cohen, 2001). La información externa es procesada por los sistemas sensoriales y en combinación con la información interna se formulan acciones, mismas que al haber situaciones inesperadas, pueden ser modificadas, para lograr de manera más eficiente la meta programada. Las acciones rutinarias no requieren ser procesadas por la CPF, sin embargo, aquellas que son novedosas o que requieren patrones complejos junto con acciones no previstas requieren una mediación temporal, misma que es coordinada por la CPF (ver Figura 10).

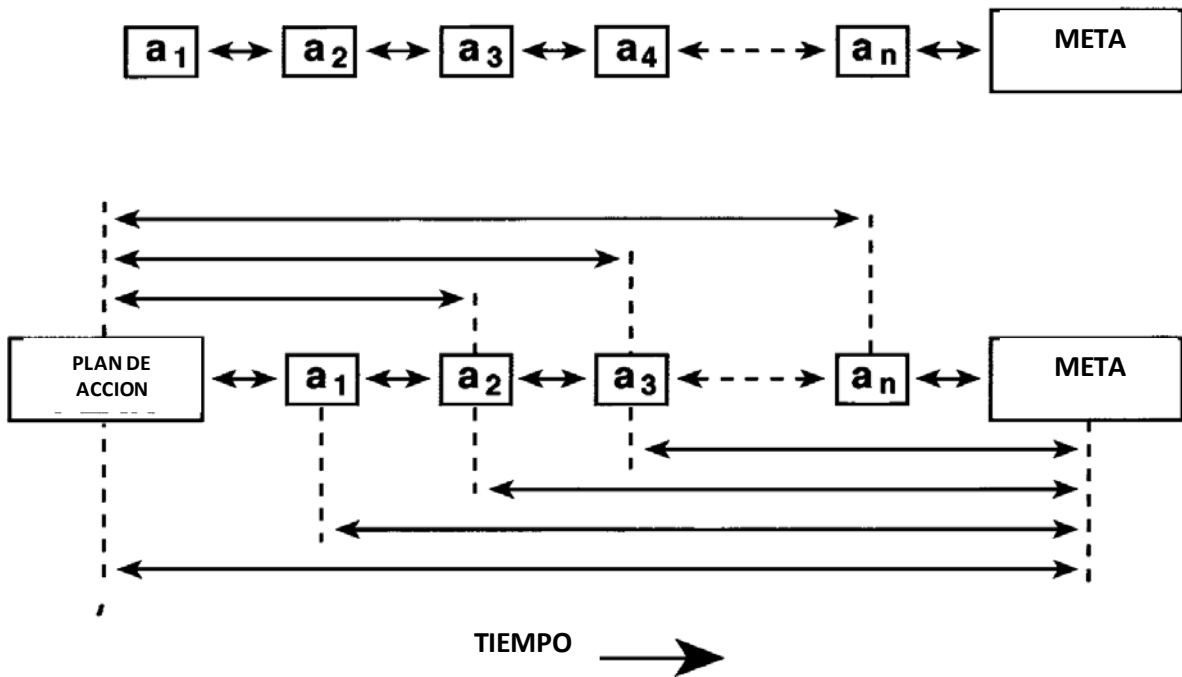


Figura 10. La CPF coordina las acciones que requieren ajustes provocados por situaciones no previstas, con el objetivo de lograr una meta. (Tomado de Fuster, 2002).

Con esto podemos inferir de la CPF tiene una organización funcional jerárquica, ya que al principio de la organización, los sistemas sensoriales y motores sustentan funciones básicas específicas de movimiento y sensibilidad y la información se va conjuntando progresivamente con informaciones de otras áreas, hasta que al final, la información llega a la CPF (Fuster 2001).

Unas de las principales funciones de la corteza prefrontal son las funciones ejecutivas: atención y sus capacidades como alertamiento, preparación para la acción, la atención espacial y control de interferencias y la alteraciones en la memoria, la memoria de trabajo, la planeación, la integración temporal del comportamiento y el lenguaje, la toma de decisiones y el monitoreo de las acciones, la habilidad para organizar temporalmente un comportamiento propositivo, el lenguaje y el razonamiento, esto es debido a que se encuentra en lo más alto del ciclo percepción-acción que procesa y almacena información

proveniente de estímulos internos y externos y que tiene acceso a varias estructuras efectoras de las acciones humanas (Fuster 2008).

Algunas de las formas de evaluar la actividad de la CPF durante las tareas que requieren el uso de la memoria de trabajo, es a través de los estudios de neuroimagen que permiten visualizar los cambios de actividad neuronal a través de cambios en el flujo sanguíneo como resultado de requerimientos cognitivos en alguna tarea determinada (Petrides, 2005) como es el caso de la Imagen por Resonancia Magnética funcional (IRMf). Leung (2005) evaluó a través de esta técnica, la relación de la CPF frontopolar anterior (CPF_a o área 10 de Brodmann) con la memoria de trabajo, ya que ha sido asociada a la recuperación de la memoria episódica. A los pacientes se les instruyó en recordar las 5 locaciones específicas de las señales en las secuencias de imágenes y posterior al tiempo de retraso, señalar si la localización que presentaba la señal en la imagen presentada coincidía con alguna de las previas (estímulo positivo) o no (estímulo negativo). Se observó un aumento en la activación de la CPF anterior derecha, junto con otras áreas en comparación con su línea base, durante la tarea de memoria. También se hizo una comparación directa de la activación cerebral en respuesta a estímulos negativos y estímulos positivos y se observó que la CPF_a ventral derecha tuvo una mayor activación en respuesta a los negativos en comparación a las pruebas positivas (Leung, 2005). Sin embargo, se requieren más estudios para conocer mejor el efecto de la participación de esta área específica de la CPF sobre la memoria de trabajo (Leung, 2005).

Pollman & von Cramon (2000) realizaron un estudio utilizando fMRI en el que determinaron el tiempo de activación de la CPF en 9 participantes y mediante IRMf, mientras un objeto se encontraba a la vista por un corto período de tiempo y en el que posteriormente, después de un período de retraso, se le presentaba al individuo en la pantalla, once objetos parecidos al estímulo inicial entre los cuales se encontraba uno que era similar al estímulo inicial. El individuo debía encontrar el estímulo similar y se observó una activación prefrontal dorsolateral derecha durante el tiempo de búsqueda del estímulo similar (Pollman & von Cramon, 2000).

Otras de las formas en las que se puede conocer las funciones de cada área es a través de estudios de lesión. Si se produce una lesión en la corteza prefrontal lateral se producirá falta de interés al medio ambiente (Luria, 1966), incapacidad para cambiar el estado de preparación, negligencia espacial, incapacidad para resistir interferencias en la realización de una tarea (Rylander, 1939; Hecaen, 1964). Las lesiones en la región prefrontal lateral producen síndrome disejecutivo el cual está caracterizado alteraciones en la atención sostenida, en la memoria de trabajo y en la planeación (Fuster, 2008).

A través del electroencefalograma también se puede evaluar la participación de la CPF en la memoria de trabajo. Al aplicar la tarea torres de Hanoi la cual evalúa procesos tales como la memoria de trabajo entre otros, Rizo (2009) buscó determinar la correlación electroencefalográfica prefronto-parietal durante la ejecución de la prueba de torres de Hanoi en relación a la edad, en niños, adolescentes y adultos. Conductualmente se encontró que el número de participantes de mayor edad que terminaron la prueba fue mayor que en el grupo de los participantes de menor edad. En los resultados electroencefalográficos, se encontró que los grupos de mayor edad (adolescentes y adultos) presentaron una mayor correlación interhemisférica prefrontal dorsolateral (en todas las bandas excepto alfa 2). En la correlación intrahemisférica prefronto-parietal derecha, se encontró un aumento de la correlación entre estas áreas en el grupo de adolescentes y adultos, con respecto al grupo de los niños, en todas las bandas, excepto en alfa 2, durante la ejecución de la tarea, lo cual puede indicar que la participación de la corteza prefrontal junto con la corteza parietal, es cada vez más importante para la adecuada ejecución de esta prueba en relación a la edad (Rizo, 2009).

Corteza parietal

La corteza parietal ocupa aproximadamente un cuarto de la superficie cortical. Se encuentra delimitada anteriormente por el surco central (cisura de Rolando), ventralmente por el surco subparietal y caudalmente por el surco occipito-parietal (Zilles, et al, 2003).

El estudio de la corteza parietal sufre los mismos inconvenientes que la corteza prefrontal. Los anatomistas no logran llegar a un acuerdo acerca de las divisiones y de su homologación con el cerebro del mono (Eidelberg & Galaburda 1984). Sin embargo, gracias a las homologías por estudios de lesión que se han hecho entre humanos y monos, es bien conocido que la lesión en el área 7 de los primates produce alteraciones visuales (Hyvärinen, 1982). Ahora, tratando de hacer la homología con la corteza humana, podemos establecer que si se lesiona el surco intraparietal y el lóbulo parietal superior adyacente, se producirá una ataxia óptica, que es una patología similar a la presentada en el mono al lesionar el área 7 cortical (Perenin & Vighetto 1988).

La parte más anterior del lóbulo parietal está formada por la corteza somatosensitiva primaria o SI (formada por las áreas de Brodmann 1,2, 3A y 3B) también llamada lóbulo parietal anterior (Kandel, 2000). Estas áreas reciben información de la piel y de información propioceptiva de músculos y articulaciones. Posterior a ésta, se encuentra la corteza somatosensitiva secundaria o SII. La información es transmitida de esta región a la ínsula para integrar la memoria táctil. (Kandel, 2000). Posterior a ésta se encuentra la corteza parietal posterior (áreas 5 y 7 de Brodmann). Estas dos áreas son llamadas áreas de asociación: el área 5 recibe información táctil de mecanorreceptores y propioceptiva de músculos y articulaciones y el área 7 recibe información para integración estereognósica y visual (Kandel, 2000). La región de la corteza parietal posterior, recibe información sensorial visual directamente de la corteza visual primaria para formar la vía dorsal visual, misma que participa importantemente en el análisis de la información motora, de profundidad y espacial (Kandel, 2000).

La corteza parietal posterior se subdivide en superior (áreas 5 y 7 de Brodmann) e inferior (áreas 39 y 40 de Brodmann) y están separados por el surco intraparietal. (Ver Figura 11). La corteza parietal inferior contiene neuronas relacionadas con el movimiento y la fijación: neuronas de fijación visual y neuronas de búsqueda visual (Sakata et al 1980).

La corteza parietal superior contiene las células encargadas de la búsqueda visual de objetos para su manipulación las cuales se clasifican en células de

proyecciones de la mano y células de proyecciones del brazo (Hyvarinen & Poranen 1974).

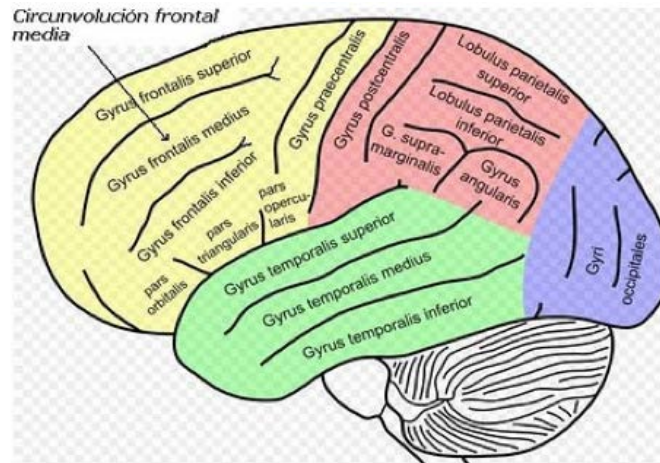


Figura 11. Divisiones anatómicas de la corteza cerebral en donde se mencionan las divisiones de la corteza parietal

Con respecto a las conexiones anatómicas y funcionales de la corteza prefrontal y parietal la región parietal y la región frontal se conectan por varias vías. (Petrides & Pandya, 1984). La más prominente de ellas es el fascículo longitudinal superior. Este fascículo está subdividido en tres subfascículos designados Fascículo Longitudinal Superior I (FLS I), Fascículo Longitudinal Superior II (FLS II) y Fascículo Longitudinal Superior III (FLS III) (Petrides & Pandya, 1984).

El FLS I, inicia en la corteza parietal superior y termina en el área motora suplementaria (MIII), el área motora primaria (área 6) y el campo visual primario (área 8Ad). Forma parte de un sistema de coordinación del cuerpo para localización de extremidades (Petrides & Pandya, 1984).

El FLS II, se origina en el lóbulo parietal inferior, región caudal y en las áreas adyacentes occipitoparietales y termina en el lóbulo posterior dorsolateral, en el área 6, área 8, 9/46 y 46. Interviene en la percepción espacial y en la competencia por el espacio (Petrides & Pandya, 1984).

El FLS III, se origina de la porción rostral del lóbulo parietal inferior (o giro supra marginal o área 40) y de la región opercular parietal adyacente. Estas fibras llegan al área premotora ventral o área 6 de Brodman y a la zona ventral del área 9/46 (Petrides & Pandya, 1984). También contiene fibras que se originan directamente en la corteza prefrontal y se dirigen hacia el lóbulo parietal inferior y al opérculo parietal (Preuss & Goldman-Rakic, 1989) (Ver figura 12).

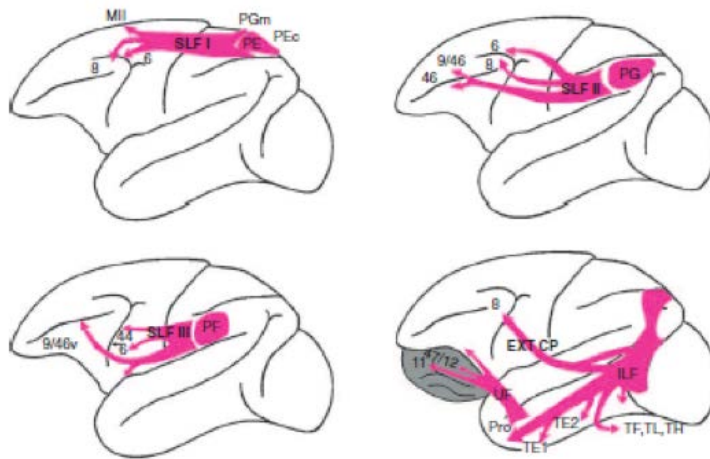


Figura 12. Modelo de conexiones entre la corteza frontal y la corteza parietal posterior. Fascículo longitudinal superior I, II y III de Petrides & Pandya, (2002) (Tomado de Fuster 2008).

Con respecto a los estudios de lesión, Koenigs et al (2009), encontró, a través de una prueba espacial en la que los pacientes debían recordar una secuencia de objetos y posteriormente debían recordarla y realizarla de manera inversa, que los pacientes con lesiones en la corteza parietal superior derecha tenían, un desempeño significativamente peor en la ejecución de la tarea, en comparación con los controles sanos o con los pacientes con lesiones en la corteza parietal inferior (Koenigs, 2009).

Los estudios de imagen también contribuyen a establecer a la corteza parietal como integrante esencial en el procesamiento visoespacial, ya que a través de estudios por tomografía por emisión de positrones (PET), se pudo localizar a la corteza parietal superior como participante activa de los movimientos sacádicos

(Anderson et, al 1994). A través de la IRMf, Corbetta et al. (Corbetta, 1998), identificaron áreas en la corteza parietal, como regiones del surco intraparietal, fuertemente implicadas tanto en los cambios en la atención como en los movimientos oculares. Estas zonas se activaron junto con zonas frontales durante la realización de una tarea que requería que los participantes cambiaran su atención hacia estímulos periféricos mientras fijaban la mirada en un punto central o cuando fijaban tanto atención como mirada en estímulos alrededor del centro, en un patrón predecible. Esto comprobó la participación de la región parietal, junto con otras áreas, en tareas visespaciales que requieren atención a estímulos llamativos.

Acerca del desarrollo de la corteza parietal se sabe a través de estudios longitudinales de resonancia magnética, que al graficar el crecimiento de la sustancia gris de la corteza parietal, ésta presenta un crecimiento en forma de “U” invertida en la gráfica (Figura 13) y se sabe que la sustancia gris cortical contenida en el lóbulo parietal, alcanza su máximo volumen a los 10.2 años en mujeres y a los 11.8 años en varones (Giedd et al 1999b).

Otro estudio que demuestra la funcionalidad de las conexiones ente áreas frontales y parietales es el realizado por Klingberg(1997) cuando a través de tareas de unión de imágenes con patrones o colores similares, con un período de retraso y con alternancias aleatorias, se demostró por medio de resonancia magnética (IRMf) y tomografía por emisión de positrones (TEP), que existía una activación cerebral simultánea entre corteza prefrontal derecha media y superior y la corteza parietal inferior anterior derecha (Klingberg, et al, 1997).

Desarrollo de la Corteza prefrontal y su relación con el desarrollo de la memoria de trabajo

La Corteza prefrontal ha sido la última región de la corteza cerebral que ha desarrollado filogenéticamente de tal forma que le confiere al ser humano ciertas capacidades cognoscitivas propias de la especie. Se piensa que las capacidades cognitivas del humano se deben, no a un mayor tamaño de la corteza prefrontal de

los humanos en comparación con los primates no humanos, sino a diferencias características en la microcircuitaría prefrontal, basadas en una combinación de un aumento en el número de columnas en regiones frontopolares y en el espacio horizontal intercolumnar que hay entre ellas (Semendeferi, 2010).

En el humano, la organización final de la corteza se presenta desde antes del nacimiento (aproximadamente desde el séptimo mes de gestación y se completa virtualmente hasta el nacimiento). Sin embargo su desarrollo continúa hasta etapa adulta (Fuster 2008). La especialización que presentan las conexiones prefrontales durante su desarrollo ontogénico son de vital importancia para el perfeccionamiento de las funciones cognitivas de alto orden y esta especialización continúa hasta la adultez, por lo que es razonable considerar que el desarrollo continuo que presentan las redes corticales posterior a la adolescencia, sustentan el desarrollo de funciones cognitivas de alto grado de integración de información (Fuster, 2002), como la memoria de trabajo.

Con respecto al desarrollo de la sustancia blanca el desarrollo no varió de manera diferente entre los lóbulos. En el lóbulo frontal, la sustancia gris aumenta durante la pre adolescencia con un pico máximo a los 12.1 años en varones, que posteriormente declina durante la postadolescencia. Con respecto a la corteza parietal, se ha encontrado un patrón similar con un aumento durante la pre adolescencia, con un pico máximo de crecimiento a los 11.8 años en varones, seguido por un declive durante la pos adolescencia (Giedd, 1999) (Figura 13).

Es importante mencionar que esta reducción en parietales se da en mayor cantidad en esta etapa que la que se presenta en etapas postadolescentes (Sowell, 1999b), misma que se mantiene hasta la etapa entre la adolescencia y la adultez temprana (Sowell, 2001). En esta misma etapa se puede observar un crecimiento bilateral de los lóbulos frontales en su región dorsal y más primordialmente en el hemisferio derecho, aparentemente causado por un aumento en la mielinización en las mismas zonas, que ocupan los lugares dejados, por la sustancia gris cortical (probablemente a causa de una poda sináptica regional) lo cual nos permite suponer que las funciones visoespaciales pueden ser desempeñadas de una forma más madura. Es probable que la

mielinización produzca un aumento en la velocidad de conducción lo cual produce un aumento en la velocidad del procesamiento de las funciones corticales (Sowell, 2001). Con respecto a la sustancia blanca prefrontal, al igual que el resto de la corteza cerebral, presenta un crecimiento lineal y no se han registrado aún períodos de decrementos sino hasta la edad adulta (40 años aproximadamente) (Giedd, 1999). La importancia de esto radica en que la maduración de las redes fronto-parietales, está estrechamente relacionada con un mejor desempeño en la ejecución de tareas de memoria de trabajo (Nagy, 2004).

Con respecto al desarrollo cortical, también es importante mencionar que en la postadolescencia, ocurre una disminución de la densidad de la sustancia gris cortical en las regiones frontales lo cual produce un adelgazamiento en la corteza de esta zona y aunque esta disminución también se extiende hacia la corteza parietal, esta reducción es menor a la que se presenta entre la niñez y la adolescencia (Sowell, 2001). Cabe mencionar en este punto que existe una relación inversa entre el decremento de la densidad de la sustancia gris cortical (particularmente en regiones frontales) y el aumento de volumen cerebral postadolescente que continúa en la adultez temprana y que esta relación está probablemente explicada por el aumento de la sustancia blanca cortical, al aumentar la mielinización regional, sin embargo, todavía no es claro el motivo de esta relación (Sowell, 2001).

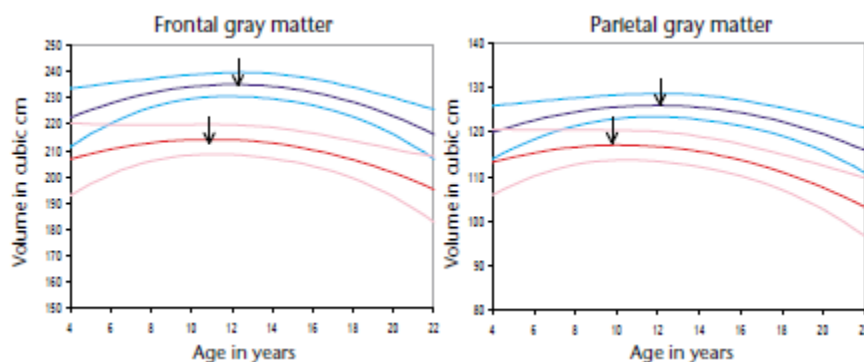


Figura 13. Desarrollo de la sustancia gris de las cortezas frontales y parietales (Tomado de Giedd, 1999)

Existen estudios que han intentado evaluar el desarrollo de la memoria de trabajo con la edad. Entre estos se encuentra el estudio realizado por Thomason y colaboradores (2009) en el cual se evaluó la memoria visoespacial mediante una prueba en la que, 16 sujetos de entre 7 y 11 años de edad y 16 sujetos de entre 20 y 30 años de edad, debían recordar puntos específicos de una imagen en diferentes locaciones y con diferentes cargas de memoria, de una pantalla que previamente se les había expuesto. Se encontró que hubo una activación más marcada en el hemisferio derecho en adultos. Ambos grupos tuvieron más errores y les tomó más tiempo el responder conforme iba aumentando la carga de memoria. Sin embargo, los niños tuvieron un aumento desproporcionado de los errores conforme aumentó la carga de memoria en comparación con el grupo de los adultos. También la diferencia se manifestó en la actividad cerebral al aumentar la carga de memoria. Los adultos presentaron un aumento gradual en la activación en muchas regiones tales como la CPF lateral y la corteza parietal. Los niños exhibieron menos activación cerebral (Thomason, 2009).

Otro estudio que señala la participación activa de la CPF DL en la memoria de trabajo visoespacial, es el realizado por Crone (2006), en el cual se evaluaron las dos etapas de memoria de trabajo visoespacial (mantenimiento y manipulación), a través de una tarea en la cual se les presentaban a los participantes 3 imágenes en secuencia y posteriormente, después de ser retiradas de la vista de los participantes, éstos tenían que recordar el orden de las imágenes. La prueba fue realizada a 14 niños, 12 adolescentes y 18 adultos a través del estudio por IRMf y se encontró que en los tres grupos había una activación uniforme de la CPF Ventrolateral, una región asociada con el mantenimiento en línea de la información. Sin embargo, en la etapa de manipulación de la información en los grupos de adolescentes y adultos se reclutaban ambas cortezas parietales junto con la CPF DL, pero el grupo de niños no solamente realizaba la tarea con más errores en comparación con los otros dos grupos, sino que también fallaba en reclutar la CPF DL y la corteza parietal superior bilateral, durante la etapa de manipulación de las imágenes (Crone, 2006).

También existen modelos neuropsicológicos que buscan explicar el proceso del desarrollo de la memoria de trabajo con relación a la edad. Dos ejemplos de estos, son: el modelo Neo-Piagetiano y la aproximación que proviene del modelo de trabajo propuesto por Baddeley (Kemps, et al 2000). El modelo Neo-Piagetiano explica el desarrollo en función del procesamiento de la información y afirma que los límites en la capacidad de la memoria de trabajo establecen los límites de los procesos cognitivos y que esto varía con la edad. Entonces el crecimiento de la memoria de trabajo determina la capacidad de aprendizaje de un sujeto (Kemps, et al 2000).

Diamond (2002) a través de la prueba A-No-B, encontró que en niños con edades entre los 8 y los 12 meses, pueden inhibir tendencias a repetir antiguas respuestas para responder de manera acorde a la representación de la nueva respuesta, posterior a un retraso de 2-3 segundos (Diamond, 2002). Kemps, Rammelaere & Desmet (2000) evaluaron niños de 5, 6, 8 y 9 años con las pruebas Mr. Peanut y los Cubos de Corsi y encontraron que en la prueba de Mr. Peanut, hubo un aumento gradual en la cantidad de puntos del modelo recordados, con una marcada diferencia entre la edad de 6 y 8 años y también entre los 8 y los 9 años, con un mejor desempeño de los últimos (Kemps, 2000). En la prueba de Cubos de Corsi, hubo una marcada mejoría entre los grupos de 6 y 8 años de edad, sin embargo no hubo diferencias significativas entre el desempeño del grupo de edades de 8 y 9 años (Kemps, 2000). Esto concuerda con a las investigaciones de Diamond (2002) que reporta que a los 7 años de edad, se presentan algunas mejorías en funciones cognitivas como la memoria de trabajo: mayor rapidez en el proceso, la habilidad para usar estrategias, la habilidad para mantener información en mente y trabajar con ella, la habilidad para mantener información en mente y ejercer inhibición.

En relación al desarrollo durante la adolescencia, Orsini (1994), evaluó el desempeño de 1122 adolescentes entre los 11 y los 16 años, al realizar la prueba de Cubos de Corsi y encontró un aumento gradual de la efectividad en el desempeño de la tarea, en relación al aumento de la edad de los participantes (Orsini, 1994).

Con todo esto se concluye que la memoria de trabajo tiene un desarrollo gradual conforme a la edad y que tanto el enfoque neurpsicológico como las técnicas actuales de neuroimagen respaldan esta aseveración.

En el presente trabajo se utilizan grupos de edades que se encuentran entre la niñez y la adolescencia, entre la adolescencia y la adultez y en la adultez, porque en esos períodos de crecimiento se observan cambios más marcados en el desarrollo de regiones corticales necesarias para la memoria de trabajo visoespacial y en el relación a los participantes jóvenes adultos, porque hay cierta estabilidad en el desarrollo nervioso en esta etapa y esto nos permitirá contrastar este desarrollo con el presentado en los demás grupos.

Existen muchas formas de evaluar la activación neuronal cortical durante la ejecución de tareas mentales, como la memoria de trabajo y una de ellas es el estudio electroencefalográfico, por lo que a continuación se explicarán conceptos relacionados con esta técnica y su utilidad en el registro de actividad de distintas áreas de la corteza cerebral.

Electroencefalograma

El electroencefalograma es una técnica que tiene sus orígenes en el siglo XIX cuando Richard Catón en 1875, realizó experimentos en los cuales presentaba estímulos visuales a conejos y monos al mismo tiempo que registraba su actividad cerebral por medio de electrodos implantados en la superficie cerebral de animales (Andreassi, 2000). Pero no fue sino hasta 1902 cuando Hans Berger hizo el primer registro en humanos (Berger 1929).

La actividad electroencefalográfica se puede definir como las oscilaciones del voltaje originadas por corrientes iónicas intra y extraneuronales en una gran población de células (probablemente las células piramidales) dispuestas en forma radial a la superficie craneana, que se activan sincrónicamente (Guevara, Hernández-González & Sanz, 2010). La actividad que registra el electroencefalograma son los potenciales de campo extracelulares originados por la despolarización de las membranas de las neuronas postsinápticas, al recibir la

estimulación excitatoria e inhibitoria proveniente de otra neurona, a través de un potencial postsináptico excitatorio que produce un flujo de cationes hacia el interior de la célula nerviosa, originando una despolarización, originando un gradiente de potencial a lo largo de la membrana en el espacio intra y extracelular (Niedermeyer, 2005). Así mismo, el registro electroencefalográfico también proviene de los elementos extracelulares de sostén del sistema nervioso central llamada glia, ya que presenta un potencial de membrana constante, mantenido por la concentración constante de iones extracelulares (como el potasio). Es importante mencionar, que la liberación de potasio producida por la despolarización de la membrana neuronal, puede producir, de manera local, puede afectar la polaridad de la membrana glial, lo cual puede contribuir a la en la modificación conductual de un estímulo espacial postsináptico, ya que la glia tiene muchas conexiones entre sí (Niedermeyer, 2005). La función de esta técnica es la ampliación de la señal proveniente de esas células para su registro visual (Aquino, et al 1999). Las diferencias tanto en la amplitud, como en la polaridad y la frecuencia de las ondas registradas por electroencefalógrafo, dependen de los potenciales sinápticos y de las variaciones que hay entre estos.

Debido a que en este estudio se utilizará la correlación para determinar la coordinación entre áreas corticales distantes es necesario definir la correlación: es una medida matemática que permite determinar la covariación entre dos señales como una función de tiempo considerando tanto la relación de fase como la polaridad entre las dos señales que se están analizando sin tomar en cuenta la amplitud (Guevara, Hernández-González & Sanz, 2010). Ésta se define con los valores -1, 1 y 0, donde -1 significa correlación máxima negativa; 1, correlación máxima positiva y 0, ausencia de correlación (Guevara, Hernández-González & Sanz, 2010).

La actividad electroencefalográfica se mide en base a dos parámetros: la amplitud y la frecuencia. La amplitud es la potencia que tiene cada onda registrada en el polígrafo y está medida en microvoltios. La frecuencia es la cantidad de ondas cerebrales que se presentan en un segundo y está medida en Hertz (Aquino et al, 1999).

En los últimos años se ha facilitado el registro encefalográfico gracias a la incursión de los sistemas computacionales. La digitalización de las señales cerebrales ha permitido trabajar con medidas cuantitativas, como la basada en el dominio del tiempo, como es la correlación (Guevara, Hernández-González & Sanz, 2010).

El análisis de las señales se realiza a través de la Transformada Rápida de Fourier (TRF), la cual es una técnica que nos permite hacer una descomposición de la actividad EEG y separarla en cada uno de los componentes de frecuencia que la forman para luego calcular la amplitud de cada uno de ellos y al final agruparlos dependiendo de las características morfológicas que compartan, en grupos de bandas específicas (Guevara, Hernández-González & Sanz, 2010). Estas amplitudes son el espectro total de amplitudes de la señal de estudio. Al elevar estas potencias al cuadrado se obtiene la potencia absoluta de la señal y a partir de ésta, se puede obtener la potencia relativa de cada frecuencia, calculando el porcentaje de cada una de ellas en base a la totalidad de la potencia absoluta (Guevara, Hernández-González & Sanz, 2010).

La técnica electroencefalográfica se realiza colocando electrodos en el cuero cabelludo del sujeto y conectando estos al electroencefalógrafo, con previa limpieza de la zona que se requiere registrar, para la remoción de partículas que pudieran interferir con la captura de la señal. El sistema más común utilizado para la colocación de los electrodos es el propuesto por el Comité Internacional en 1958 (Jasper, 1958) coloquialmente conocido como el sistema “Jasper 10-20” (Scott, 1976) (Ver Figura 14).

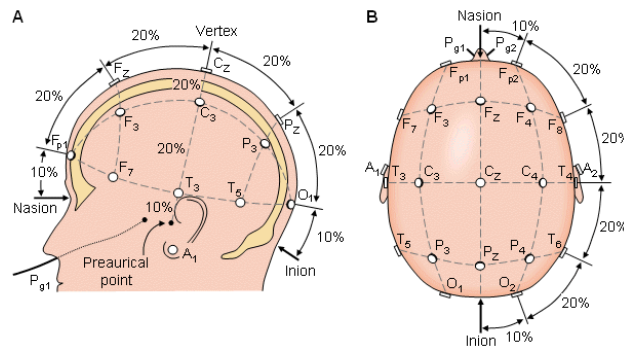


Figura 14. Sistema 10-20 internacional de colocación de electrodos y su nomenclatura

El registro EEG superficial (en el cuero cabelludo) puede revelar una interacción funcional entre sistemas oscilatorios involucrados en diferentes estados mentales y procesos cognitivos (Tsoneva, 2011). Cambios en las señales EEG indican un aumento o un decremento en la sincronía de poblaciones neuronales que forman un sistema y se manifiesta como un aumento o disminución de la potencia de bandas específicas de la actividad EEG (Tsoneva, 2011).

Ritmos electroencefalográficos

Se utilizará la técnica electroencefalográfica como herramienta de medición en este trabajo, dada su sensibilidad a las variaciones eléctricas corticales, por lo que se describirán los 5 ritmos básicos de la actividad EEG.

Ritmo delta

Tiene una amplitud que va de los 100 a 200 μV y tiene una frecuencia EEG normal de 1 a 3.5 Hz (Guevara, Hernández-González & Sanz, 2010). Este ritmo no se debe de observar en pacientes e vigilia, sino que es frecuente encontrarlo en sujetos dormidos en la última fase del sueño de ondas lentas. Se presenta también en estados profundos de relajación como en la meditación con yoga y en tareas en las cuales se requiere mucha concentración. Es común observarlo en los dos primeros años de vida o en daños cerebrales serios. Se origina en la toda la neocorteza y se refleja sinápticamente en el tálamo (Steriade, 2005).

Ritmo alfa

Se refiere a una frecuencia electroencefalográfica de 8-13 Hz variando ± 1 con el desarrollo cerebral. Tiene una amplitud de 20-60 μV . Se distribuye normalmente en regiones posteriores (occipitales) de ambos hemisferios (pero también se pueden encontrar en regiones parietales y frontales) y si presenta una asimetría interhemisférica mayor del 85% se pensaría en un signo patológico. Es un ritmo que se presenta en sujetos en vigilia, relajados, pero con ojos cerrados y que se interrumpe o se atenúa con la apertura de los ojos y con operaciones mentales, esto es, cuando se desincroniza alfa, es remplazado por beta, sin embargo en tareas que requieren una concentración profunda, se cambian por ondas delta (Guevara, Hernández-González & Sanz, 2010).

Ritmo theta

Esta frecuencia EEG tiene la característica que se presenta mayormente en regiones parietales y temporales de los niños. Tiene una amplitud cercana a los 70 μV . Este ritmo no es frecuente encontrarlo en pacientes en vigilia, sin embargo, se presenta en ocasiones en situaciones de estrés emocional además de haberse observado en meditación yoga y tiene una frecuencia de 4 a 7.5 Hz (Guevara, Hernández-González & Sanz, 2010). Su frecuencia, además de observarse en esfuerzos mentales, también se ha relacionado con la memoria de trabajo (Tsoneva, 2011), específicamente en la manipulación exitosa de la información, en regiones frontales mediales (Itthipuripat, 2013). Este ritmo usualmente desaparece en la adolescencia (Niedermeyer, 2005).

Ritmo beta

El ritmo beta presenta una frecuencia mayor de 13 Hz, en general con un promedio entre 18-25 Hz. Tiene una amplitud usualmente baja de 5 μV y es simétrico entre regiones homólogas entre ambos hemisferios y si se encuentra una asimetría mayor del 35%, se consideraría patológica. Se observa principalmente en regiones centrales y frontales del cerebro (Guevara, Hernández-

González, Sanz & Amezcua, 2011). Aparecen durante la activación del sistema nervioso central, si el individuo se encuentra bajo tensión emocional o con la apertura de ojos durante vigilia (Guevara, Hernández-González, Sanz & Amezcua, 2011). La actividad beta se incrementa en la región central izquierda (electrodo C3) con el movimiento voluntario de los dedos de la mano derecha (Pfurtscheller & Neuper, 1992).

Ritmo gamma

El ritmo gamma es una continuación de ondas beta ya que tiene una frecuencia aproximada que va entre los 31 y los 100 Hz teniendo como frecuencia promedio los 40 Hz y tiene una amplitud de 10-20 μ V. Este ritmo se presenta mayormente en la región frontocentral (Guevara, Hernández-González & Sanz, 2010). Se ha asociado con funciones como la percepción y alertamiento, memoria a corto y largo plazo, introspección y control motor (Rieder, 2010).

Las mediciones cuantitativas de la actividad EEG, se han utilizado para revelar alteraciones funcionales que sustentan alteraciones en el aprendizaje.

Se utilizará el electroencefalograma en este trabajo para medir y comparar los cambios en la actividad eléctrica de distintas regiones corticales, dado que el registro EEG es una herramienta sensible a los potenciales de campo producidos por diferentes regiones cerebrales con el fin de producir determinada función mental, en este caso la memoria de trabajo.

Cambios EEG con el desarrollo cerebral normal

La actividad EEG en la etapa neonatal refleja inmadurez cerebral y presenta algunos fenómenos característicos. El neonato presenta actividad EEG similar al patrón prenatal hasta los 2 meses de edad. A esa edad, se presenta el ritmo que se piensa es precursor del ritmo alfa en regiones occipitales con una frecuencia de 3-4 Hz y una amplitud de 50-100 μ V. Hablando de la actividad de fondo, se sabe que se presentan por primera vez a los 2-3 meses de edad con ondas theta y delta

y de distribución generalizada y son las mismas que a la edad de 60 años aparecen de manera excesiva (Tejeiro, 2008).

Entre los 6 y los 12 años de edad el ritmo alfa posterior alcanza su frecuencia de adulto de 10 Hz. La aceleración de regiones parietales posteriores se alcanza primero en niñas que en niños en ritmos posteriores y la amplitud máxima se alcanza entre los 6 y los 9 años de edad para posteriormente disminuir. Esto se da primordialmente en el hemisferio dominante. Es a esta misma edad cuando hay una mezcla de ritmos alfa con ritmos lentos como con la variante lenta de ritmo alfa y con ritmos de alto voltaje como delta o theta. En esta edad también hay escasa actividad beta y antes de los 11 años se puede encontrar actividad theta (6-7 Hz) en regiones anteriores, sin que se considere actividad epileptógena (Tejeiro, 2008) (Ver Figura 15).

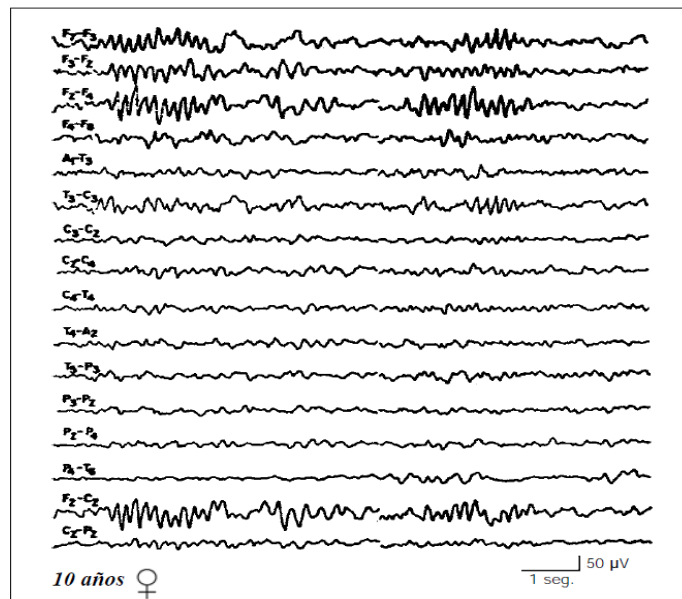


Figura 15. Actividad theta rítmica 6-7 Hz en regiones anteriores en individuos de 10 años.

Las ondas posteriores de la juventud, aparecen entre los 8 y los 20 años de edad y son ondas fusionadas de morfología triangular, asimétricas, entremezcladas con el ritmo alfa de escasa duración (Ver Figura 16).

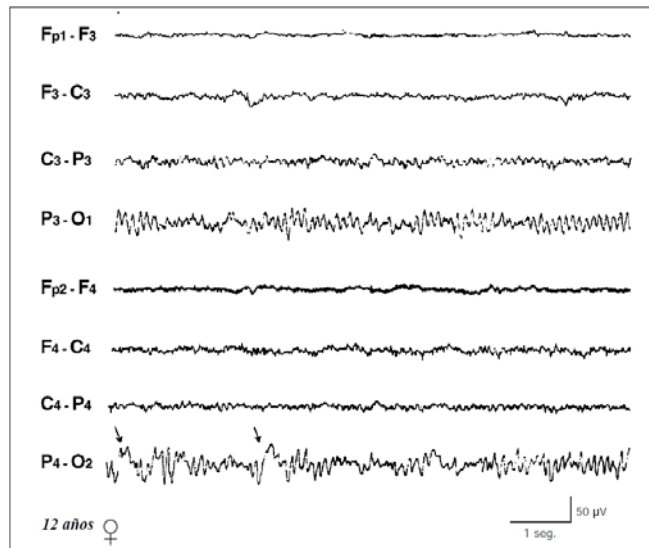


Figura 16. Ondas posteriores de la juventud

En la actividad EEG del adolescente (13 – 20 años) se presentan cambios más característicos de la edad adulta. El ritmo alfa posterior presenta una frecuencia media de 10 Hz y un alto voltaje el cual es mayor en hemisferio dominante. La actividad rápida se presenta en regiones anteriores (Tejeiro, 2008).

En la etapa adulta (20 – 60 años) ya no se presentan cambios muy drásticos en el trazado electroencefalográfico. Durante el estado de vigilia, es posible observar ritmos y ondas que se pueden identificar claramente por sus características específicas (Tejeiro, 2008).

El ritmo alfa (que no es igual a la actividad o frecuencia alfa), de 8-13 Hz de frecuencia, se presenta en estados de vigilia con los ojos cerrados y relajado pero se atenúa o se bloquea al abrir los ojos o con alguna actividad mental. Este ritmo tiende a declinar en la senectud. Su amplitud varía alrededor de 50 µV, pero éste, declina con la edad. El ritmo alfa se encuentra mayormente en regiones posteriores como en parietales u occipitales pero después de los 60 años tiende a aparecer en regiones frontocentrales (Tejeiro, 2008).

El ritmo alfa presenta un incremento gradual con el desarrollo encontrándose a 4 Hz a los 4 meses de edad, de 6 Hz a los 12 meses de edad, de

8 Hz a los 3 años de edad y de 10 Hz a los 10 años de edad (Tejeiro, 2008) (Ver. Figura 17).

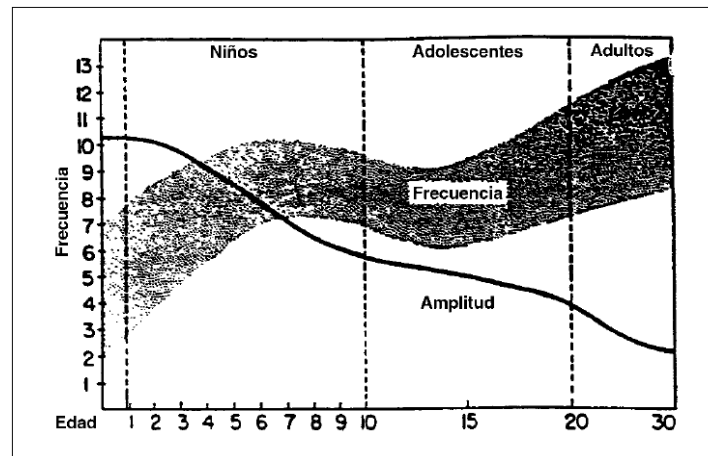


Figura 17. Cambios en la frecuencia y en la amplitud del ritmo alfa con la edad (Tejeiro, 2008).

Los patrones EEG varían, no solo con la edad, sino también conforme la tarea realizada, por lo tanto se analizarán los cambios característicos que se presentan con la memoria de trabajo visoespacial.

En relación a la topografía electroencefalográfica con la edad, Michels (2013) evaluó la actividad de las bandas delta, theta, alfa 1, alfa 2 y beta en condición basal, con ojos abiertos, comparando las diferencias de activación en 17 participantes adultos (edad media 25.1 ± 3.8 , 8 varones) y 17 niños (edad media 10.1 ± 1.3 , 9 varones). En el grupo de los niños, en el análisis de la potencia absoluta, encontró actividad delta asociada a fuentes de la corteza cingulada posterior como fuente principal de esta banda (BA26, 29, 30 y 31) y además en corteza motora primaria (BA 4) y giro frontal inferior (BA 44), con respecto a la banda theta se encontró que su fuente principal era la región parietal posterior (BA 39, 7) y el resto de las fuentes estaban en corteza prefrontal medial (BA 9) y corteza prefrontal dorsolateral (BA 46). Con respecto a la banda alfa se encontró su principal fuente en corteza parietal (BA 39) y el resto provenía de corteza visual (BA17), corteza prefrontal dorsolateral (BA46) y el giro frontal inferior (BA 44). La actividad beta provenía principalmente de corteza visual (BA 17) y el resto de sus fuentes corticales

estaban en corteza parietal posterior (BA 7), corteza prefrontal dorsolateral (BA46) y corteza prefrontal media (BA 9).

En el grupo de los adultos se encontró que la banda delta tuvo su principal fuente en corteza premotora (BA 6), corteza parietal (BA 39) y subcorticalmente en ínsula (BA 16) y núcleo caudado. La actividad theta tuvo su fuente principal en corteza prefrontal lateral y medial (BA 9 y 10), giro frontal inferior (BA 44) y corteza orbitofrontal (BA 11). La actividad alfa tuvo su fuente principal en corteza cingulada media (BA 32), corteza occipital (BA 17), corteza parietal (BA 39), corteza prefrontal medial (BA 9), corteza prefrontal dorsolateral (BA 46) y subcorticalmente en el tálamo. Y por último la banda beta tuvo su principal fuente en corteza cingulada media y posterior (BA 30 y 31), corteza premotora (BA 6), corteza prefrontal dorsolateral (BA 46) y tálamo.

De manera más específica en relación a la edad, se ha demostrado en reportes previos que las potencias absolutas de las bandas de frecuencia lenta en estado basal como delta, theta y alfa 1, disminuyen exponencialmente con la edad, mientras que la potencia absoluta de las bandas de frecuencia rápida como alfa 2 y beta presentan un decremento menos prominente o un crecimiento más complejo, como un incremento durante la niñez y un decremento en la adolescencia, (Lüchinger, 2011). Lüchinger comparó dos grupos, uno de 18 adultos (edad media=24.9, DE=3.8, 8 varones) y uno de 18 adolescentes (edad media=15.4, DE=1.1 años, 8 varones) a través de la combinación de técnicas EEG y IMRf y encontró una reducción en la amplitud de las frecuencias bajas después de los 15 años, además de que la banda alfa 2, se presentó prominentemente en regiones parietales en todos los participantes. En el 2012, este mismo autor realizó estas mismas mediciones pero agregó un tercer grupo de 19 niños (edad media=19.6 ± 1.3 años, 8 varones). El hallazgo más importante fue que se presentó un clásico decremento en las potencias absolutas con respecto a la edad, con una marcada diferencia entre el grupo de los niños y el de los mayores, principalmente en las bandas lentas, pero junto con este hallazgo se encontró una reducción central máxima en la banda theta y una reducción frontocentral de las bandas delta y beta, siendo esta reducción de la banda beta la más evidente entre el grupo de los adolescentes y los adultos. De manera general se comprobó una reducción significativa entre el grupo de los niños y los otros dos mayores para todas las bandas excepto para alfa 2. El autor concluye que esta atenuación en la potencia de las bandas es un reflejo de la madurez funcional cerebral (Lüchinger, 2012).

Otro parámetro que ha sido utilizado para evaluar el desarrollo cortical conforme a la edad es la coherencia. Thatcher encontró que entre regiones prefrontales izquierdas (Fp1-F3), se presentó un aumento en la coherencia entre los 9 y los 13 años y que en las regiones homólogas (Fp2-F4), se presentó un pico importante a los 5 años y otro a los 11 años, para posteriormente disminuir y luego volverse a elevar posterior a los 15 años. Con respecto a la coherencia intrahemisférica izquierda (Fp1-P3), aunque en su valor total fue menor que la coherencia entre regiones prefrontales, se presentó un pico máximo, en el hemisferio izquierdo, a los 5 y a los 12 años, para volver a aumentar después de los 15 años y en el hemisferio derecho se presentó el mismo patrón de desarrollo (Thatcher, 1989).

Actividad EEG y memoria de trabajo

La actividad theta (4-7 Hz) es el ritmo EEG que más fuertemente se relaciona con las tareas de memoria de trabajo (Tesche, 1999), en especial la memoria de trabajo visual y esfuerzo mental (Onton, 2005). Además de las oscilaciones alfa (10-12 Hz) y tienen un papel muy importante en esta función cognitiva (Klimesch, 1996, 1999).

Con respecto al estudio de la corteza cerebral, se ha reportado que el electroencefalograma es una técnica que resulta ser muy útil en el establecimiento de las redes neuronales que sustentan la memoria de trabajo (McEvoy et al 2001, Sauseng et al, 2004). Los cambios de frecuencia en los patrones EEG reflejan el aumento o decremento de la sincronía de grupos de neuronas. Estos cambios relacionados a un momento determinado de una tarea se llaman des sincronización relacionada con el evento (ERD) o sincronización relacionada con el evento (ERS) (Tsoneva, 2011) y son importantes para establecer relaciones entre los generadores corticales de funciones cognitivas y los registros electroencefalográficos.

Por otro lado, Sauseng, en el 2005 postuló que el central ejecutivo, que es parte del modelo de memoria de trabajo postulado por Baddeley (Baddeley, 1974), es reflejado por la coherencia fronto – parietal en el rango de frecuencias theta y

alfa superior, a través de una tarea en la que 29 sujetos debían aprender un patrón de barras, posteriormente recordarlos para después compararlos entre ellos, lo cual implicaría dos procesos, el de codificación y el de manipulación, encontrando que la banda theta presentó un aumento de la coherencia entre redes fronto-parietales e intraparietales durante la tarea de manipulación, comparada con etapa de codificación y en donde encontró que alfa superior mostró un decremento generalizado en todas las zonas, principalmente en regiones frontales y un aumento de la coherencia en el rango de theta entre regiones fronto – parietales (Sauseng, 2005).

De estos dos experimentos realizados para evaluar la participación de las ondas theta en la memoria de trabajo visual, se puede integrar a esta banda como participante activa del proceso de codificación y manipulación de la información y como una de las bandas más prominentes durante la ejecución de tareas que implican memoria de trabajo visual (Sauseng, 2002).

Existen dos cambios característicos en la actividad EEG durante el esfuerzo mental que se origina en las tareas de memoria de trabajo: un aumento en la frecuencia frontal del ritmo theta conforme la tarea va requiriendo mayor atención (Gevins et al, 1979^a) y una disminución del ritmo alfa conforme la tarea va requiriendo mayor dificultad (Serman et al., 1994). Esto fue lo que comprobó Gevins (1997) en una tarea en la que los participantes eran registrados con la técnica electroencefalográfica mientras realizaban una tarea (n-back) donde se les presentaban recuadros consecutivos que contenían una consonante en una posición específica de éstos, y los participantes tenían que recordar y señalar si en el recuadro presentado 3 posiciones después, se encontraba ocupado por la consonante a recordar, en el mismo lugar recordado. En este estudio se encontró un distribución medial frontal del ritmo theta, probablemente con origen en CPF DL, con una mayor amplitud con el aumento de dificultad de la tarea y con las sesiones de práctica (Gevins, 1997).

Planteamiento del problema

La memoria de trabajo es la capacidad de mantener información activa y disponible en la memoria, para manipularla y formular una acción secuencialmente ordenada. La corteza prefrontal es una estructura clave en el procesamiento de la información y tiene por lo tanto importantes contribuciones en las funciones ejecutivas y cognoscitivas, tales como la memoria de trabajo. Se ha descrito que en relación al desarrollo y maduración de la corteza prefrontal se desarrollan y mejoran las habilidades cognoscitivas. Para estudiar las habilidades cognoscitivas de los sujetos es necesario conocer cómo funciona el cerebro en relación a la edad y cómo su desarrollo permitirá tomar adecuadas decisiones. En la modulación de la memoria de trabajo visoespacial, así como de otras funciones cognoscitivas, han sido implicadas varias estructuras subcorticales y corticales de las cuales, como se mencionó anteriormente, sobresale el papel de la corteza prefrontal y sus conexiones con áreas parietales. Por lo tanto, el realizar una investigación en la cual se caracterice la correlación electroencefalográfica entre áreas prefronto-parietales en niños, adolescentes y adultos durante la ejecución de una tarea que evalúa la memoria de trabajo visoespacial (como cubos de Corsi), contribuirá en gran medida al entendimiento de las bases cerebrales de los procesos cognoscitivos con relación a la edad.

Objetivo general

Caracterizar la correlación electroencefalográfica inter e intrahemisférica prefronto- parietal en niños, adolescentes y adultos jóvenes durante la ejecución de Cubos de Corsi.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar la correlación electroencefalográfica interhemisférica de la corteza prefrontal (Fp1-Fp2 y F3-F4) durante la ejecución de Cubos de Corsi en niños, adolescentes y adultos jóvenes.
2. Caracterizar la correlación electroencefalográfica intrahemisférica entre las cortezas prefrontal-prefrontal (Fp1-F3 y Fp2-F4) y prefrontal-parietal (Fp1-P3, Fp2-P4, F3-P3 y F4-P4) durante la ejecución de Cubos de Corsi en niños, adolescentes y adultos jóvenes.
3. Evaluar el desempeño en la ejecución Cubos de Corsi en niños, adolescentes y adultos jóvenes.

Hipótesis general

La correlación de la actividad EEG entre áreas prefrontales y parietales será diferente de forma característica en niños, adolescentes y adultos jóvenes durante la ejecución Cubos de Corsi.

Hipótesis específicas

1. La correlación interhemisférica prefrontal disminuirá conforme aumente la edad, el grupo de menor edad tendrá mayor correlación en relación a los adolescentes y adultos jóvenes.
2. La correlación intrahemisférica prefronto parietal aumentará conforme a la edad, grupo de menor edad tendrá menor correlación en relación a los adolescentes y adultos jóvenes.
3. El grupo de niños presentará menor número de respuestas correctas durante la ejecución de Cubos de Corsi comparado con los adolescentes y adultos.

Metodología

Participantes

36 varones divididos en tres grupos de acuerdo a su edad (ver Figura 18).

- Grupo 1 (G1): 12 varones de 11 años más un día a 13 años menos un día de edad.
- Grupo 2 (G2): 12 varones de 18 años más un día y 20 años menos un día de edad.
- Grupo 3 (G3): 12 varones de 26 años más un día y 30 años menos un día de edad.



Figura 18. Participantes

Criterios de inclusión

Los integrantes de cada grupo compartirán las siguientes características:

- Diestros
- Sin antecedentes de patologías psiquiátricas, neurológicas o enfermedades crónicas.
- Sin tratamiento médico actual
- Sin problemas de aprendizaje
- Asistencia a escuelas particulares o de nivel universitario.
- CI normal (de acuerdo a la escala de Wechsler, 1997).

- Con parámetros normales de atención y memoria valorados por la Evaluación Neuropsicológica Breve en Español (NEUROPSI) (Ostrosky, Ardila & Roselli, 1997).
- Participantes de escuelas privadas, de nivel de licenciatura, profesionistas o adultos independientes.

Materiales y método

El estudio se llevó a cabo en dos fases.

Fase 1. Se hizo contacto con las instituciones educativas de nivel primario, de nivel secundario, de nivel licenciatura o a profesionistas de población en general, para exponer los objetivos del estudio. En el caso de las instituciones educativas el contacto se realizó con la dirección general o las coordinaciones pertinentes. Los participantes fueron invitados a través de la repartición de volantes, anuncio por redes sociales o invitando a los estudiantes personalmente en los salones de clase. Una vez establecido el contacto, se realizó una entrevista (de manera personal o vía telefónica) con los padres de familia (en caso de G1) interesados en que sus hijos participen en el proyecto y directamente con los posibles participantes (en caso de G2 y G3) para exponer objetivos y métodos que serían utilizados en la investigación y para corroborar criterios de inclusión, de los participantes aceptados y, posteriormente, se agendó fecha y hora del estudio. Las fechas del estudio fueron en cualquier día de la semana (según fue más cómodo para el participante) y en horario entre 10 am y 3 pm. Los participantes fueron citados al Instituto de Neurociencias de la Universidad de Guadalajara. Un día previo al registro EEG los participantes debían abstenerse de ingerir bebidas alcohólicas o que contengan cafeína, no ingerir alimentos con alto contenido en azúcares, tomar un desayuno ligero y dormir la misma cantidad de horas habituales la noche previa (de preferencia entre 6 y 8 hrs); acudieron al estudio con el pelo seco y sin gel. Los participantes de los grupos G1 y G2 fueron

estudiantes de escuelas privadas de la ciudad de Guadalajara, Jalisco y los participantes del grupo G3 eran estudiantes de licenciatura o profesionistas egresados.

Fase 2. Al acudir a la cita, se les daba la bienvenida y se les comentaba someramente el procedimiento del estudio. Se recababa la firma de consentimiento informado para constatar la participación y voluntaria en la investigación (Anexo formato). Posteriormente se iniciaba la prueba con el llenado del formato del cuestionario demográfico (Anexo formato), para recabar datos importantes del participante para la investigación. Se procedía a realizar las pruebas de Coeficiente Intelectual según escala WAIS (Wechsler, 1997) y la Evaluación Neuropsicológica Breve en Español (NEUROPSI) (Ostrosky, Ardila & Roselli, 1997), para acceder al estudio. Luego, se les mostraban las instalaciones y el equipo necesario y se les explicaba brevemente el funcionamiento del mismo.

Previa limpieza del cuero cabelludo con alcohol en gel y con Nuprep, se colocaban los electrodos en el cuero cabelludo de la cabeza del sujeto, en la región F3 y F4 (regiones frontales), P5 y P6 (regiones parietales), en la frente en las regiones Fp1 y Fp2 (regiones frontopolares), en los lóbulos de ambas orejas, en la región frontal supranasal y en la muñeca derecha. Posterior a la colocación de los electrodos se medían las impedancias con un medidor de impedancias de electrodos marca GRASS modelo EZM 4 buscando que las impedancias sean lo más homogéneas posibles y con un valor inferior a los 10 Ohms. Después el participante pasaba con mucho cuidado al cuarto de registro (sonoamortiguado y con temperatura estable) para llevar a cabo el registro y la tarea. El registro electroencefalográfico se realizaba en dos etapas: en la primera etapa se llevaba a cabo el registro de línea basal, el cual es un registro que se le realiza al sujeto estando sentado cómodamente en una silla, con una actitud relajada, con ojos abiertos. Además, se le pedía al participante parpadear lo menos posible, no moverse y mirar un punto fijo (señalado por el examinador) durante 3 minutos de registro. Posterior a estas indicaciones se cerraba la puerta del cuarto de registro, dejando solo al participante. Posterior a esta etapa, se daban 3 minutos de descanso con la puerta abierta, el examinador se cercioraba de que el sujeto se

encontrara en condiciones para continuar el estudio y se procedía a realizar la tarea.

Antes de empezar la segunda etapa se le explicaba al sujeto que realizaría la prueba Cubos de Corsi versión computarizada. Se colocaba una computadora laptop de 15 pulgadas, con procesador Intel Centrino con sistema operativo Windows XP, a 40 cm del sujeto. El equipo de cómputo que se utilizó contaba con sistema pantalla sensible al tacto (*touch screen*) para facilitar el desempeño de la tarea. Con la prueba lista en la computadora, se le indicaban al participante las instrucciones necesarias para realizar la tarea: se le explicaba que la prueba iniciaba tocando la pantalla de la computadora y posterior a la comprobación de pleno entendimiento de estas instrucciones, se le daban las indicaciones necesarias para el registro: parpadear y moverse lo menos posible y adoptar una posición corporal cómoda y relajada. Se indicaba al sujeto que si terminaba la prueba antes del tiempo máximo avisara al examinador. Se cerraba la puerta y se le pedía que avisara cuando se encontrara listo para iniciar la prueba y comenzar el registro. Se realizaba la prueba de Cubos de Corsi, orden progresivo, con registro EEG simultáneo, con un tiempo máximo de 4 minutos. Posteriormente a la finalización de esta prueba se daban 3 minutos de descanso. Posteriormente se realizaba la prueba Cubos de Corsi con registro EEG simultáneo, con duración máximo de 4 minutos. El registro EEG finalizaba cuando el sujeto avisaba que había terminado con la prueba o cuando se terminaba el tiempo máximo asignado a la prueba (15 minutos).

Electroencefalograma

El registro EEG se realizó en las derivaciones Fp1, Fp2, F3, F4, P3 y P4 de acuerdo al Sistema Internacional 10-20 (Jasper, 1958) (ver Figura 19) de colocación de electrodos, con orejas cortocircuitadas como referencia. Las bandas registradas fueron: Delta (1-3.5 Hz), Theta (4-7.5 Hz), Alfa1 (8-10.5 Hz), Alfa2 (11-13.5Hz), Beta1 (14-19.5 Hz), Beta2 (20-30 Hz) y Gamma (31-50 Hz). Se colocaron además electrodos en la muñeca izquierda para medir la frecuencia cardiaca, en

ojos derecho e izquierdo para medir los artefactos que pudiesen interferir con el registro y un electrodo en la región supranasal para producir el efecto de tierra.

El registro se realizó por medio de un polígrafo Grass, modelo P7 de 8 canales. (Filtros de 1 a 50 Hz). Se capturó la señal mediante el programa CAPTUEST (que es una variante del programa CAPTUSEN) (Guevara, Ramos-Loyo, Hernández-González, Madera-Carrillo & Corsi-Cabrera, 2000), utilizando una computadora compatible con PC. Se utilizaron electrodos tipo platillo (marca Grass) con cubierta de chapa de oro. La impedancia de cada uno será de menos de 10 KOhms. Las muestras fueron tomadas de 1024 puntos a una frecuencia de muestreo de 512 Hz. Se revisaron los registros EEG fuera de línea para eliminar segmentos contaminados y posteriormente se obtuvieron los valores normalizados de la Correlación Interhemisférica ($rTER$) y la Correlación Intrahemisférica ($rTRA$).

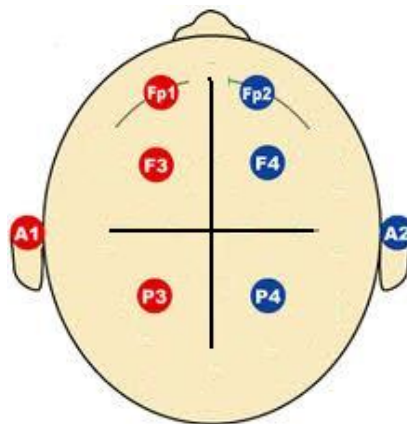


Figura 19. Representación de colocación de electrodos de acuerdo a Sistema Internacional (Jasper, 1958) para registros de actividad EEG. Fp1: frontopolar izquierdo, Fp2: frontopolar derecho, F3: prefrontal izquierdo, F4: prefrontal derecho, P3: parietal izquierdo, P4: parietal derecho A1 y A2: auriculares (para electrodos de referencia).

Cuestionario demográfico: En este breve formato se recaban: Nombre, Dirección y teléfono, Fecha de Nacimiento, Nivel Educativo, Ocupación, Estado de Salud, padecimiento psiquiátrico o neurológico u otra enfermedad sistémica, consumo de sustancias, antecedentes personales patológicos como algún accidente o enfermedad infecciosa con repercusiones a nivel de sistema nervioso central y horas de sueño diario promedio.

Batería de pruebas

Se aplicaron solamente las subpruebas de las escalas debido a que el enfoque es para inclusión al proyecto y no para criterios clínicos para diagnóstico.

NEUROPSI: Instrumento de valoración neuropsicológica que evalúa a detalla tipos de atención entre los que se encuentran la atención selectiva, sostenida y el control atencional; así como tipos de memoria incluyendo memoria de trabajo, memoria de corto plazo y de largo plazo para material espacial y verbal. En esta prueba se evaluaron como criterios de inclusión:

Atención y concentración: Se utiliza para evaluar la habilidad del participante para enfocar y sostener la atención, antes de evaluar funciones más complejas como la memoria. Se realizarán las siguientes subpruebas:

- Prueba de detección visual:
- Prueba de detección de dígitos
- Prueba de series sucesivas
- Prueba de retención de dígitos en progresión y en regresión

El sistema de calificación aporta datos cualitativos y cuantitativos. Se cuantifican los datos naturales y los crudos y se convierten a puntuaciones normalizadas. Las calificaciones e pueden obtener de manera separada mediante las pruebas de atención, las pruebas de memoria o las pruebas de ejecución global de atención y memoria, con el fin de delimitar puntualmente el tipo de deficiencia en caso de así tenerla ya sea atencional o mnésica.

Tanto para la puntuación global como para las diversas subpruebas, los parámetros de normalización nos permiten obtener un grado o nivel de alteración de las funciones cognitivas que se clasifican en: normal alto, normal, alteraciones leves o alteraciones severas.

En el caso del presente proyecto de investigación solamente se incluirán a participantes que presenten niveles normales y normales altos en las puntuaciones de esta prueba. De esta forma se comprobará que el participante cuenta con las habilidades de atención suficientes para realizar la prueba.

Escala de Inteligencia de Wechsler para adultos (WAIS III): Es un instrumento clínico de aplicación individual para la evaluación de la capacidad intelectual de adultos que tienen entre 16 y 89 años de edad cuyas 14 subpruebas miden una faceta diferente de la inteligencia. En este estudio solamente se realizarán dos de las subpruebas a los participantes del Grupo 2 y del Grupo 3 experimental:

Diseño de cubos: Un conjunto de patrones geométricos modelados o impresos en dos dimensiones que el participante reproduce utilizando cubos bicolores.

Vocabulario: Una serie de palabras presentadas de manera oral y visual y que la persona debe definir verbalmente.

La calificación se obtiene en base a la calificación cruda y la calificación escalar y ésta última se utiliza para la obtención del Coeficiente intelectual (CI) y se obtiene estandarizando la puntuación cruda y sumándole las puntuaciones crudas de las demás subpruebas que se necesiten evaluar. El resultado es multiplicado por 3 y al siguiente resultado le es agregado 40.

Escala de Wechsler de Inteligencia para Niños (WISC IV): Esta prueba se realiza a participantes entre los 6 años y los 16 años 11 meses de edad y se usa para evaluar el coeficiente intelectual (CI) de los participantes del Grupo 1 experimental se utilizará el WISC IV, que tiene la función de la evaluación completa del funcionamiento cognoscitivo general. El WISC IV, emplea 15 test en general, sin embargo para la inclusión de participantes, se aplicarán dos subpruebas

Vocabulario: Buena medida del conocimiento o dominio que tiene el sujeto sobre el lenguaje y la comprensión de las diferentes palabras que lo componen. También nos da una idea acerca de sus recursos para manejar palabras y construir una explicación verbal coherente a la demanda

Cubos: Supone una buena medida de la coordinación visomotora. Niños que rotan excesivamente los cubos o tienen problemas en integrar el dibujo pueden presentar lateralidad cruzada o problemas visuales.

Las calificaciones probables son las siguientes (WAIS III y WISC IV):

- Muy bajo: Menor o igual a 69
- Límite: 70 a 79
- Promedio bajo: 80 a 89
- Promedio: 90 a 109
- Promedio alto: 110 a 119

En este proyecto de investigación solamente serán incluidos los participantes que cuenten con un CI por encima de 80.

Cubos de Corsi

En la presente investigación se utilizó la versión computarizada llamada CUBMEMPC, desarrollada en el Instituto de Neurociencias de la Universidad de Guadalajara (Guevara, Hernández-González & Sanz, 2010). Ésta versión es compatible con el Sistema Operativo Windows XP o Windows Vista y aunque es recomendable su uso en PC, también es compatible con computadoras con monitores sensibles al tacto. Para la tarea se utilizaron 10 cubos de color azul, sobre una superficie rectangular de color gris, numerados del 1 al 10 y colocados de manera aleatoria (ver Figura 20). La tarea da comienzo cuando el participante toca la pantalla de la computadora y automáticamente inicia una secuencia de cubos. Para emular los toques del examinador para formar la secuencia de cubos, el programa cambia los cubos de color azul a color amarillo simulando un encendido (de duración de 1 segundo) uno por uno y de manera secuencial hasta formar una serie de cubos y se van aumentando progresivamente hasta posibles series de 10 cubos. Al finalizar la secuencia, el participante debe tocar en la pantalla los cubos que escoja como parte de la repetición de la secuencia y éstos cambian de color (500 ms). Estas secuencias deben ser retenidas en la memoria por un corto período de tiempo y ser reproducidas por el participante en el mismo orden y en orden inverso (aunque solamente se tomarán en cuenta el orden inverso para medición de la memoria de trabajo) al final de la serie programada por la computadora. El intervalo de activación entre cada cubo es de 1 segundo.

Las secuencias van desde 2 elementos hasta 10 elementos. El número total de ensayos es de 24.

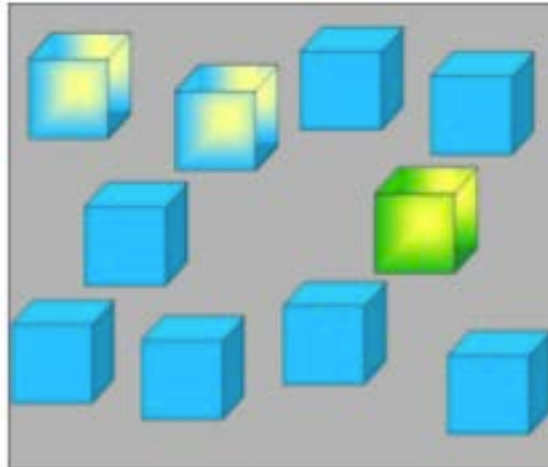


Figura 20. Cubos de Corsi pantalla principal versión digitalizada. Los cubos cambian de color cuando el programa establece la secuencia a seguir y cuando el individuo escoge acertadamente un cuadro (Tomada de Guevara, Hernández-González, Sanz-Martín, Amezcua, 2011).

Se tomarán en cuenta los siguientes parámetros:

- Latencia de inicio
- Tiempo de ejecución total
- Número de ensayos correctos
- Número máximo de elementos retenidos en la memoria

Diseño Experimental

Primero se hizo contacto con las instituciones educativas o con población en general para reclutar a los participantes voluntarios interesados en participar en el proyecto de investigación. Al hacerlo, se realizó una breve entrevista para corroborar criterios de inclusión y para explicar brevemente el objetivo de la

prueba. En los casos de aceptación de participación voluntaria, se agendó fecha de evaluación y se citó en el Instituto de Neurociencias.

Al acudir a la cita programada, se firmaba el consentimiento informado, se llenaba formato demográfico, y se llevaron a cabo las evaluaciones WISC (G1), WAIS (G2 y G3) y Neuropsi (G1, G2, G3).

Posterior a la realización de pruebas neuropsicológicas, se procedía a la colocación de electrodos y posteriormente se realizaba el registro basal de 3 minutos con ojos abiertos, posteriores a los cuales se permitía a los participantes descansar por otros 3 minutos. Después se realizaba la prueba Cubos de Corsi sentido directo y registro EEG simultáneo con duración de 4 minutos, posteriormente se daban 3 minutos de descanso y posteriormente se realizaba un registro EEG simultáneo a realizar la tarea Cubos de Corsi sentido inverso con duración de 4 minutos. La duración total del procedimiento era de 2 horas (ver Figura 21).

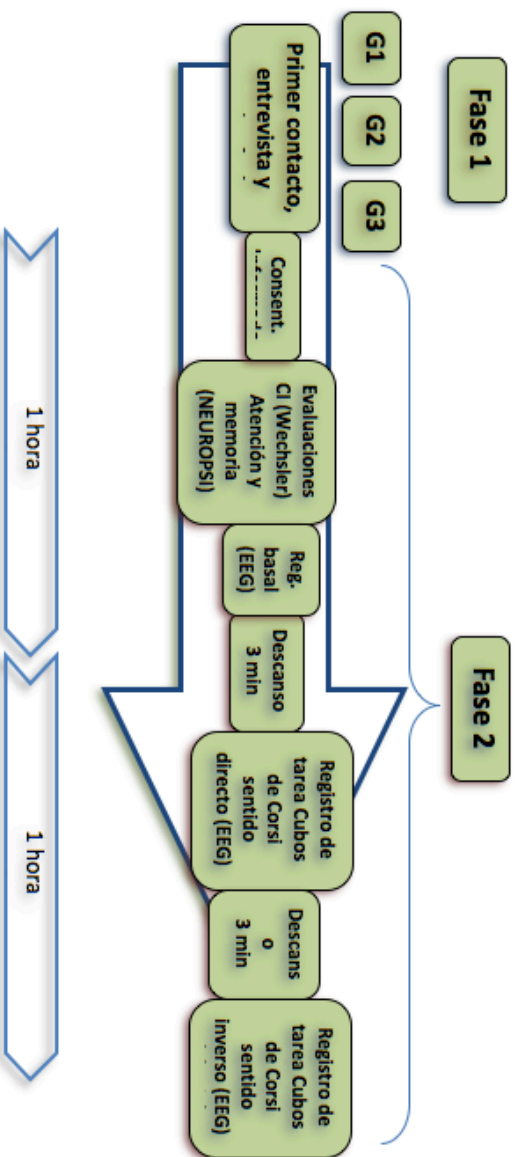


Figura 21. Diagrama que muestra la secuencia temporal del diseño experimental que se siguió en este proyecto de investigación.

Análisis estadístico

El análisis de los resultados de la ejecución de la prueba cubos de Corsi se realizaron por medio de un análisis de varianza mixto (ANDEVA) de dos factores (grupos de participantes [3] y condiciones de registro [línea basal y memoria de trabajo]) seguido de un análisis de resultados utilizando la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.01 ($p \leq 0.01$).

Se realizó un ANDEVA para la correlación interhemisférica (Fp1 –Fp2, F3 - F4 y P3 – P4) para cada banda y sucesivamente se realizaba una prueba de Tukey; y uno para la correlación intrahemisférica (Fp1 - F3 – P3 y Fp2 - F4 – P4) para cada banda, seguido de una prueba de Tukey. Todos los valores de correlación fueron transformados a valores Z de Fisher.

Resultados conductuales

Para el análisis conductual se realizó un ANDEVA entre los tres grupos considerados (grupo 1: de 11 a 13, grupo 2: de 18 a 20 y grupo 3: de 26 a 30 años), para cada uno de los 4 parámetros evaluados durante la ejecución de los cubos de Corsi (latencia de inicio, número máximo de elementos retenidos en la memoria, número de respuestas correctas y tiempo total de ejecución de la tarea). En la latencia de inicio no se encontraron diferencias significativas entre grupos. En el número de elementos retenidos en la memoria, esto es el número máximo de cubos que pudieron retener los participantes por cada ensayo, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los grupos 2 y 3 con respecto al grupo 1, encontrándose que los dos primeros retuvieron mayor cantidad de elementos (span) durante la ejecución de los cubos de Corsi que los del grupo 1 (ver Figura 22, A). Con respecto al parámetro cantidad de respuestas correctas se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los grupo 2 y 3 con respecto al grupo 1, hallando que los dos primeros tuvieron una mayor cantidad de aciertos que el grupo 1 (ver Figura 22, B). En relación al parámetro de tiempo total de ejecución se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) solamente entre el grupo 3 con respecto al grupo 1, teniendo el primero un menor tiempo de ejecución de la tarea que el grupo 1 (ver Figura 22, C).

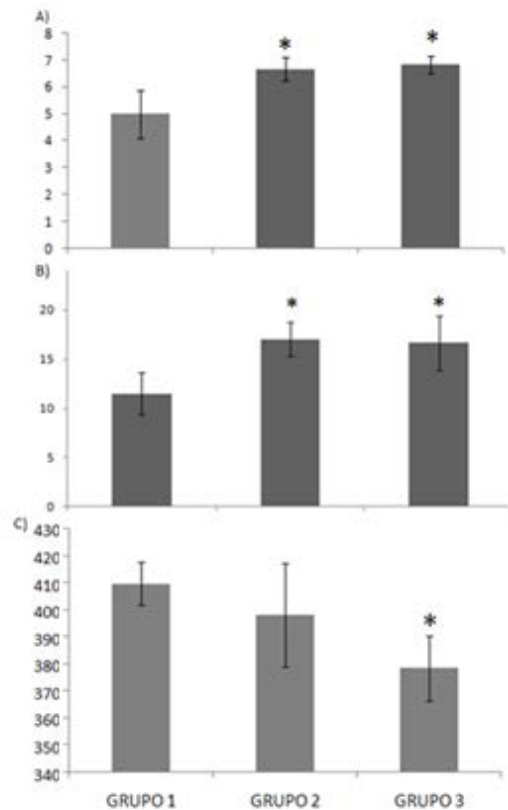


Figura 22. Media ± 2 E.S. de (A) número de elementos retenidos en la memoria, (B) número de respuestas correctas y (C) tiempo total de ejecución (seg) que los sujetos de los tres grupos de edad presentaron durante la resolución de la tarea de Cubos de Corsi. * $p \leq 0.05$ respecto a grupo 1.

Comparación entre grupos

Correlación interhemisférica

En el análisis estadístico EEG realizado se consideró la interacción entre las condiciones basal y cubos de Corsi, en las diferentes bandas delta, theta, alfa1, alfa2, beta1, beta2 y gamma.

En la correlación interhemisférica frontopolar, (Fp1 – Fp2) se encontró, en la condición basal, una mayor correlación de casi todas las bandas en el grupo 3 (excepto delta y theta), con respecto al grupo 1 (ver Figura 23, A) y durante la

ejecución de los cubos de Corsi, se encontró una mayor correlación en el grupo 2 de las bandas alfa1, alfa2, beta1 y beta2 y en el grupo 3 se encontró una mayor correlación desde la banda alfa 1 hasta gamma, con respecto al grupo 1 (ver Figura 23, B).

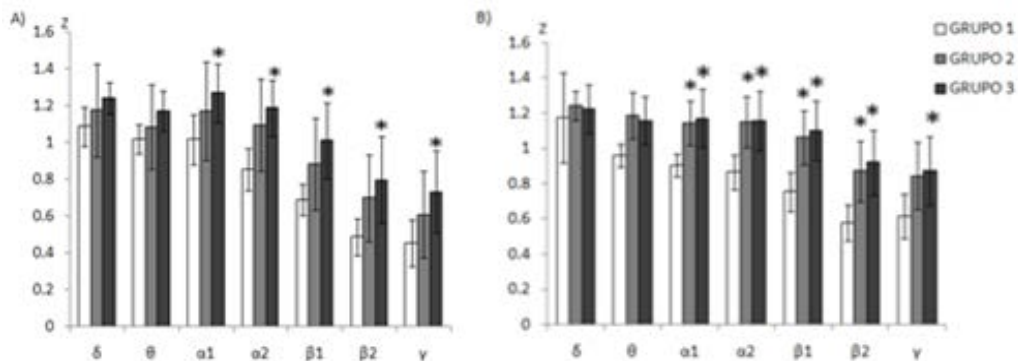


Figura 23. Media \pm 2 E.S. de la correlación interhemisférica frontopolar (Fp1-Fp2) que presentaron los sujetos de los diferentes grupos de edad en todas las bandas EEG durante la condición basal (A) y durante la ejecución de los cubos de Corsi (CC) (B). * $p \leq 0.05$ respecto al grupo 1

En la comparación interhemisférica prefrontal dorsolateral (F3 – F4), en la condición basal se encontró una mayor correlación en las bandas alfa2, beta1 beta 2 y gamma en el grupo 3 con respecto al grupo 1 (ver Figura 24, A) mientras que durante la ejecución de los cubos de Corsi se presentó una mayor correlación en casi todas las bandas rápidas como lo son alfa2, beta1 y beta2 en el grupo 2 y 3 con respecto al grupo 1 (ver Figura 24, B).

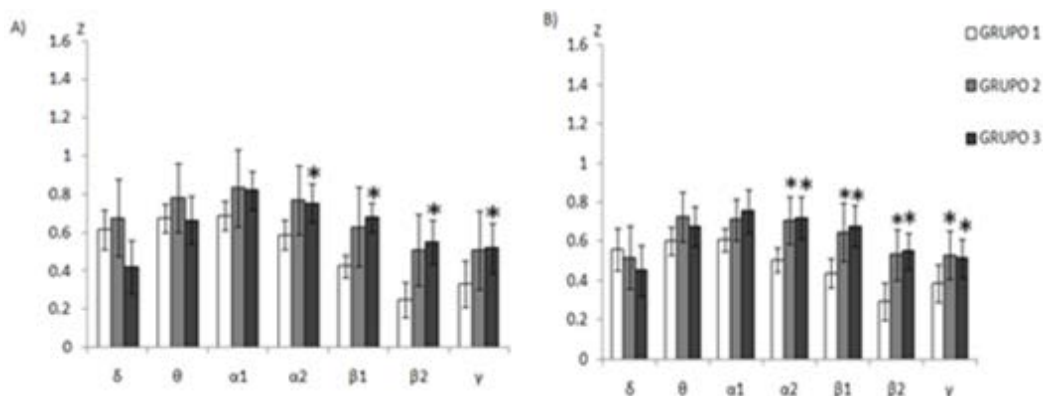


Figura 24. Media \pm 2 E.S. de la correlación interhemisférica prefrontal dorsolateral (F3-F4) que presentaron los sujetos de los diferentes grupos de edad en todas las bandas EEG durante la condición basal (A) y durante la ejecución de los cubos de Corsi (B). * $p \leq 0.05$ respecto al grupo 1.

Correlación Intrahemisférica

En la comparación intrahemisférica frontopolar-prefrontal dorsolateral izquierda (Fp1-F3), durante la condición basal no encontraron correlaciones significativas (ver Figura 25, A), tampoco durante la ejecución de los cubos de Corsi (ver Figura 25, B).

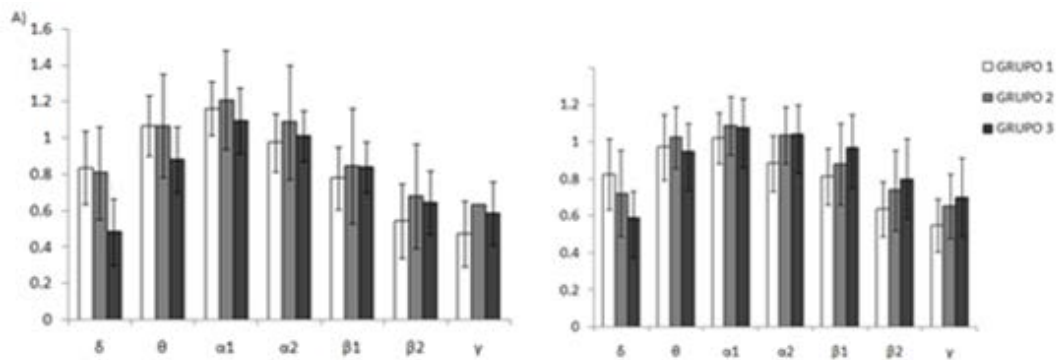


Figura 25. Media \pm 2 E.S. de la correlación intrahemisférica frontopolar-prefrontal dorsolateral izquierda (Fp1-F3) que presentaron los sujetos de los diferentes grupos de edad en todas las bandas EEG durante la condición basal (A) y durante la ejecución de los cubos de Corsi (B). * $p \leq 0.05$ con respecto al grupo 1.

En la comparación intrahemisférica, entre frontopolar - prefrontal dorsolateral derecha (Fp2-F4), durante la condición basal se presentó una mayor correlación del grupo 3 con respecto al grupo 1 en las bandas alfa2 y beta1 (ver Figura 26, A) en tanto que durante la realización de los cubos de Corsi (ver Figura 26, B), tanto el grupo 2 como el grupo 3, presentaron una mayor correlación en las bandas rápidas (desde alfa 1 hasta gamma), con respecto al grupo 1.

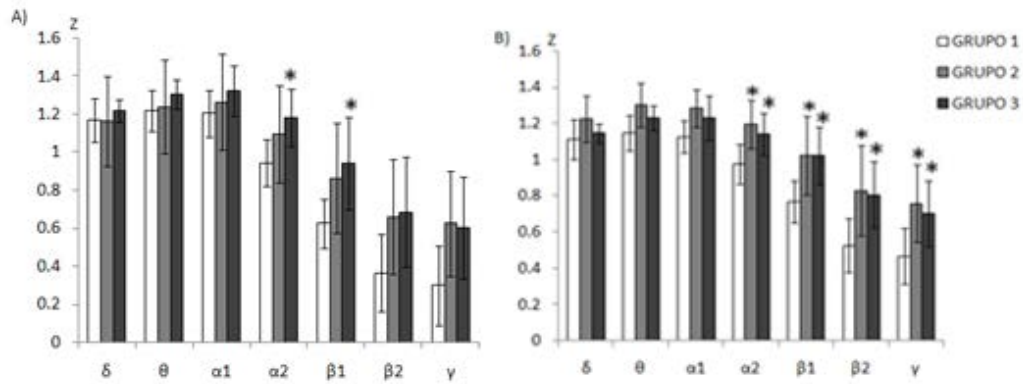


Figura 26. Media \pm 2 E.S. de la correlación intrahemisférica frontopolar-prefrontal dorsolateral derecha (Fp2-F4) que presentaron los sujetos de los diferentes grupos de edad en todas las bandas EEG durante la condición basal (A) y durante la ejecución de los cubos de Corsi (B). * $p \leq 0.05$ con respecto al grupo 1.

En la correlación intrahemisférica frontopolar-parietal izquierda (Fp1 – P3), en la condición basal, se encontró una mayor correlación en las bandas theta y beta2 en el grupo 2 y en el grupo 3, con respecto al grupo 1 (ver Figura 27, A). Durante la ejecución de los cubos de Corsi se presentó una mayor correlación en el grupo 2 con respecto al grupo 1 en las bandas theta y beta2 (ver Figura 27, B).

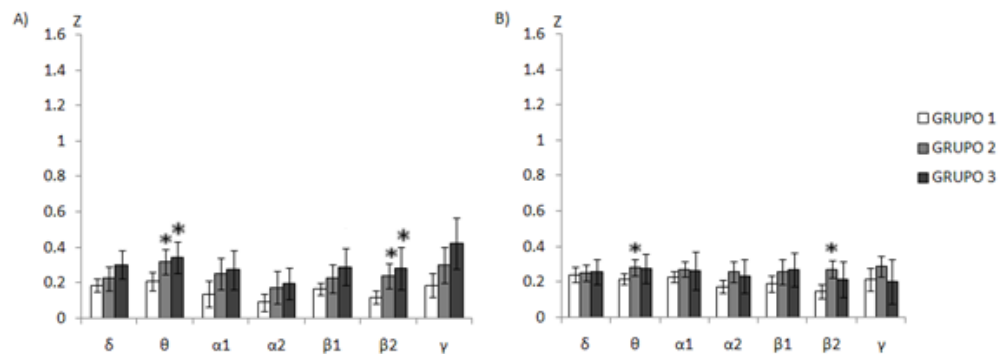


Figura 27. Media \pm 2 E.S. de la correlación intrahemisférica frontopolar-prefrontal dorsolateral izquierda (Fp1-P3) que presentaron los sujetos de los diferentes grupos de edad en todas las bandas EEG durante la condición basal (A) y durante la ejecución de los cubos de Corsi (B). * $p \leq 0.05$ con respecto al grupo 1.

En la correlación intrahemisférica frontopolar-parietal derecha (Fp2 – P4), se encontró que en la condición basal hubo una mayor correlación en los grupos 2 y 3 en la banda beta2 con respecto al grupo 1 (ver Figura 28, A). Durante la ejecución de los cubos de Corsi solo se presentó una mayor correlación en el grupo 2 con respecto al grupo 1 en la banda beta2 (ver Figura 28, B).

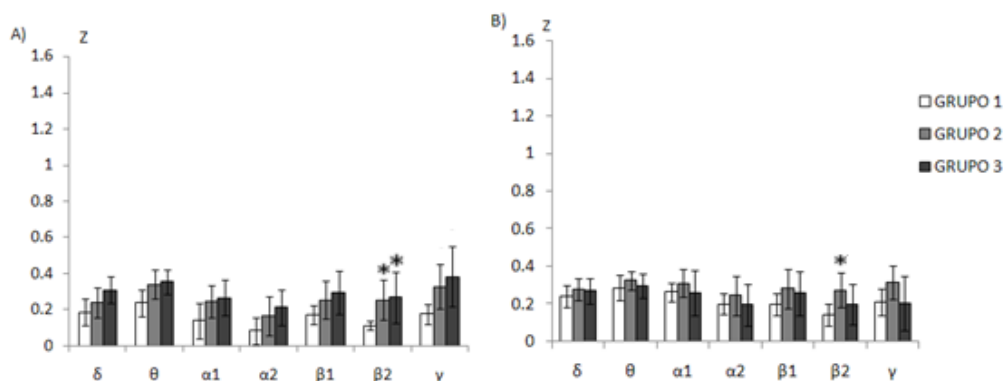


Figura 28. Media \pm 2 E.S. de la correlación intrahemisférica frontopolar, prefrontal dorsolateral derecha (Fp2-P4) que presentaron los sujetos de los diferentes grupos de edad en todas las bandas EEG durante la condición basal (A) y durante la ejecución de los cubos de Corsi (B) * $p \leq 0.05$ con respecto al grupo 1.

En la correlación intrahemisférica prefrontal dorsolateral-parietal izquierda (F3 – P3), durante la condición basal se encontró una mayor correlación en los grupos 2 (beta1 y beta2) y 3 (alfa2 beta1 y beta2) con respecto al grupo 1 (ver Figura 29, A). Durante la ejecución de los cubos de Corsi sólo se presentó una mayor correlación en los grupos 2 y 3 en las bandas alfa2, beta1 y beta2, con respecto al grupo 1 (ver Figura 29, B).

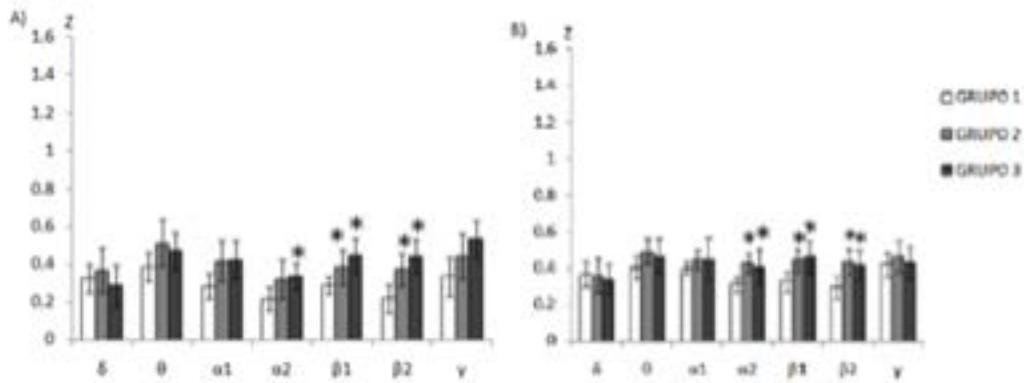


Figura 29. Media \pm 2 E.S. de la correlación intrahemisférica prefrontal dorsolateral-parietal izquierda (F3-P3) que presentaron los sujetos de los diferentes grupos de edad en todas las bandas EEG durante la condición basal (A) y durante la ejecución de los cubos de Corsi (B) * $p \leq 0.05$ con respecto al grupo 1.

En la correlación intrahemisférica prefrontal dorsolateral-parietal derecha (F4 – P4), se presentó en la condición basal una mayor correlación en todas las bandas (excepto en alfa 2) en el grupo 3 con respecto al grupo 1 y en el grupo 2 una mayor correlación en las bandas theta, alfa1, beta2 y gamma (ver Figura 30, A). Durante la ejecución de los cubos de Corsi, se presentó una mayor correlación en los grupos 2 (delta, theta, beta1 y beta2) y 3 (delta, beta1 y beta2) con respecto al grupo 1 (ver Figura 30, B).

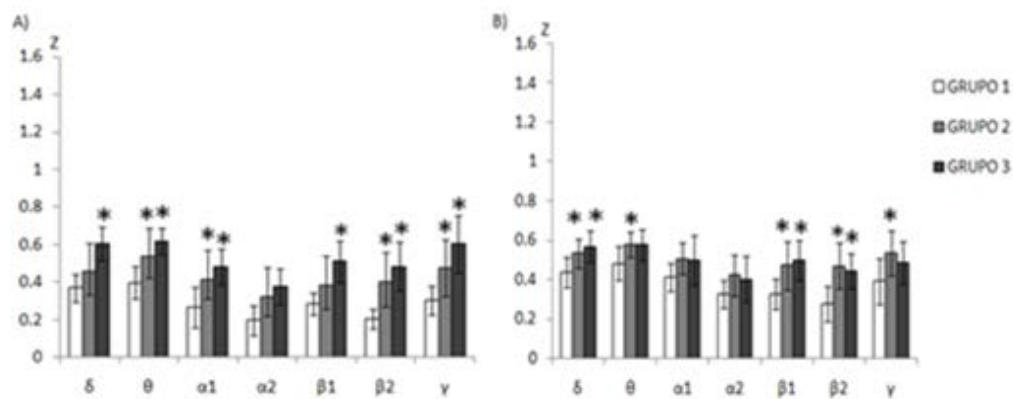


Figura 30. Media \pm 2 E.S. de la correlación intrahemisférica prefrontal dorsolateral-parietal derecha (F4-P4) que presentaron los sujetos de los diferentes grupos de edad en todas las bandas EEG durante la condición basal (A) y durante la ejecución de los cubos de Corsi (B) * $p \leq 0.05$ respecto al grupo 1.

Comparación entre condiciones

Correlación interhemisférica

En la comparación entre condiciones, la correlación interhemisférica frontopolar (Fp1 – Fp2), en el grupo 1 presentó una menor correlación en alfa 1 y una mayor correlación en gamma durante la ejecución de los cubos de Corsi. De igual forma en el grupo 2 hubo una mayor correlación en la banda beta1, beta2 y gamma y en el grupo 3, se presentó una disminución en la banda alfa1 (ambas durante la realización de la tarea cubos de Corsi) (ver Figura 31).

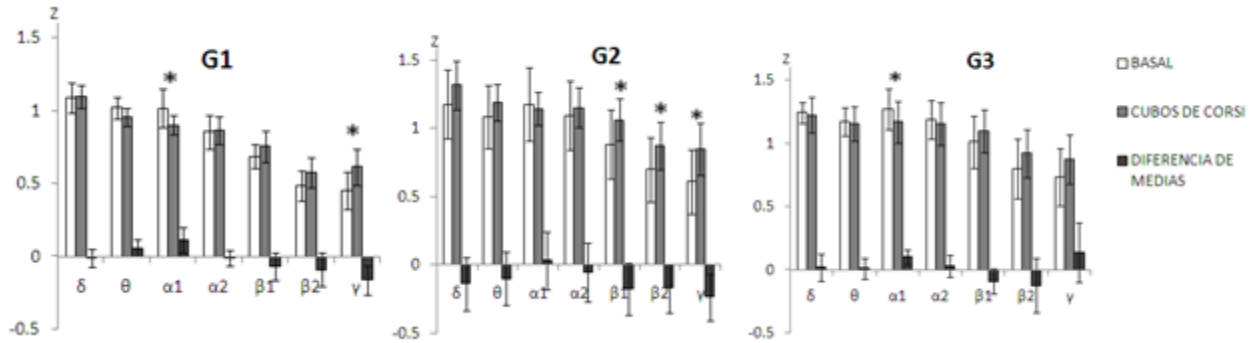


Figura 31. Media \pm 2 E.S. de la correlación interhemisférica frontopolar (Fp1-Fp2), en los tres grupos, durante la condición basal y durante la ejecución de cubos de Corsi, en todas las bandas registradas. * $p \leq 0.05$

En la correlación interhemisférica prefrontal dorsolateral (F3 – F4), en el grupo 1 hubo una menor correlación en las bandas alfa1 y alfa2 durante la realización de la tarea cubos de Corsi. En el grupo 2 y en el grupo 3 no hubieron diferencias significativas (ver Figura 32).

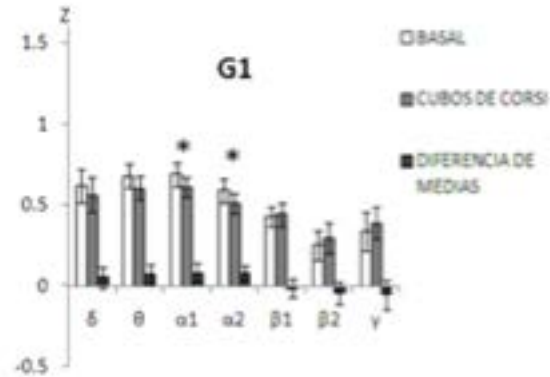


Figura 32. Media \pm 2 E.S. de la correlación interhemisférica prefrontal dorsolateral (F3-F4), en el grupo uno, durante la condición basal y durante la ejecución de cubos de Corsi, en todas las bandas registradas. * $p \leq 0.05$

Correlación intrahemisférica

En la correlación intrahemisférica frontopolar-prefrontal dorsolateral izquierda (Fp1 – F3), en el grupo 1 se presentó una menor correlación en la banda alfa1 durante la ejecución de los cubos de Corsi (ver Figura 33).

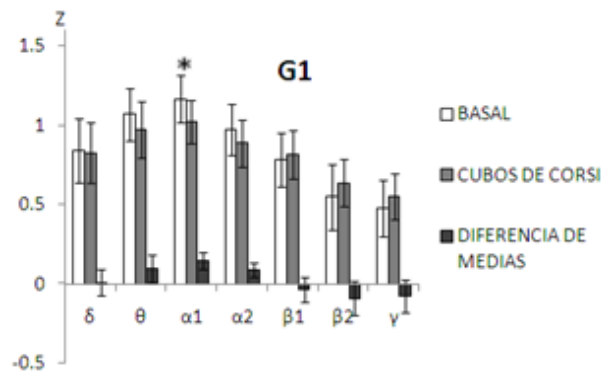


Figura 33. Media \pm 2 E.S. de la correlación intrahemisférica frontopolar-prefrontal dorsolateral izquierda (Fp1-F3), en el grupo uno, durante la condición basal y durante la ejecución de cubos de Corsi, en todas las bandas registradas. * $p \leq 0.05$

En la correlación intrahemisférica frontopolar-prefrontal dorsolateral derecha (Fp2 – F4), en el grupo 1, se presentó una mayor correlación de las bandas beta1,

beta2 y gamma durante la ejecución de los cubos de Corsi. En el grupo 3 no se presentaron diferencias significativas, solamente una tendencia a la alta en la correlación de las bandas rápidas (ver Figura 34).

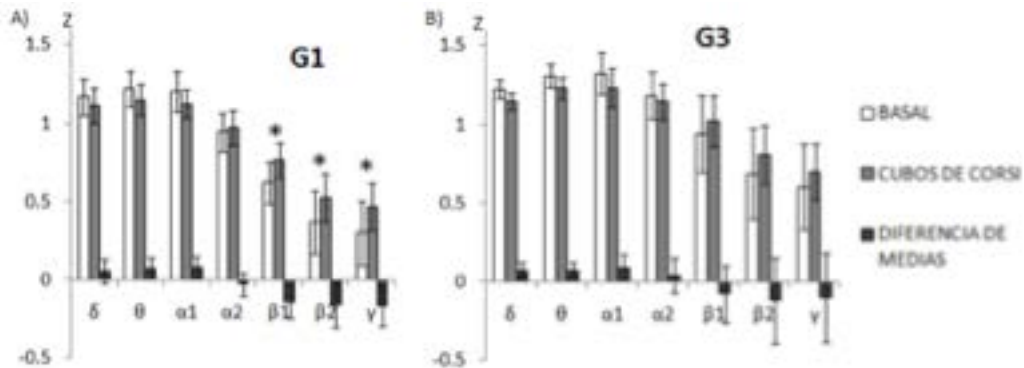


Figura 34. Media \pm 2 E.S. de la correlación intrahemisférica frontopolar, prefrontal dorsolateral derecha (Fp2-F4), en el grupo uno, durante la condición basal y durante la ejecución de cubos de corsi, en todas las bandas registradas. * $p \leq 0.05$

En la correlación intrahemisférica frontopolar-parietal izquierda (Fp1 – P3), en el grupo 1 se presentó una mayor correlación en la banda alfa2 durante los cubos de Corsi. En el grupo 2 se encontró una mayor correlación en la misma banda alfa2 y en el grupo 3 se presentó una menor correlación en las bandas theta y gamma durante la misma condición (ver Figura 35).

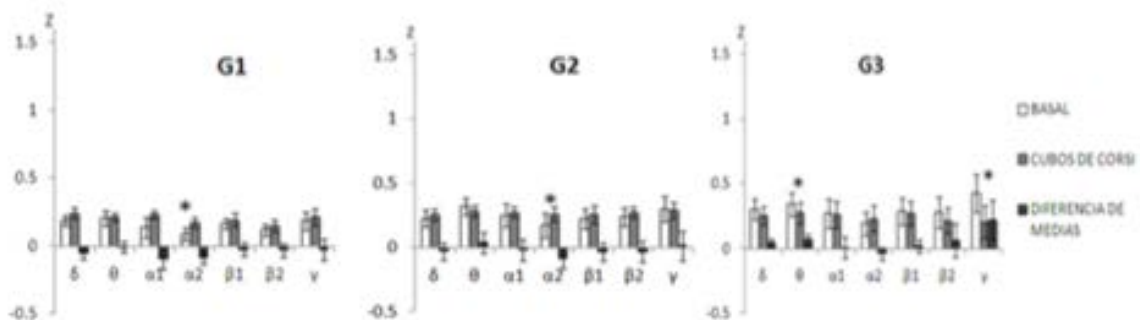


Figura 35. Media \pm 2 E.S. de la correlación intrahemisférica frontopolar-parietal izquierda (Fp1-P3), en los grupos uno, dos y tres, durante la condición basal y durante la ejecución de cubos de corsi, en todas las bandas registradas. * $p \leq 0.05$

En la correlación intrahemisférica frontopolar-parietal derecha (Fp2 – P4), en el grupo 1 hubo una mayor correlación en las bandas alfa1 y alfa2. En el grupo 2 y 3 no hubo diferencias significativas (ver Figura 36).

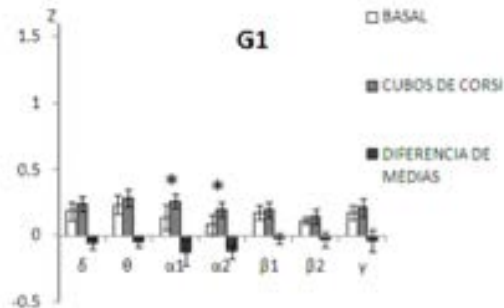


Figura 36. Media \pm 2 E.S. de la correlación intrahemisférica frontopolar-parietal derecha (Fp2-P4), en los grupos uno y tres, durante la condición basal y durante la ejecución de cubos de corsi, en todas las bandas registradas. * $p \leq 0.05$

En la correlación intrahemisférica prefrontal dorsolateral-parietal izquierda (F3 – P3), en el grupo 1 hubo una mayor correlación en las bandas alfa1, alfa2 y beta2, mientras que en los grupos 2 y 3 se presentó una mayor correlación en la banda alfa2, durante la ejecución de los cubos de Corsi (ver Figura 37).

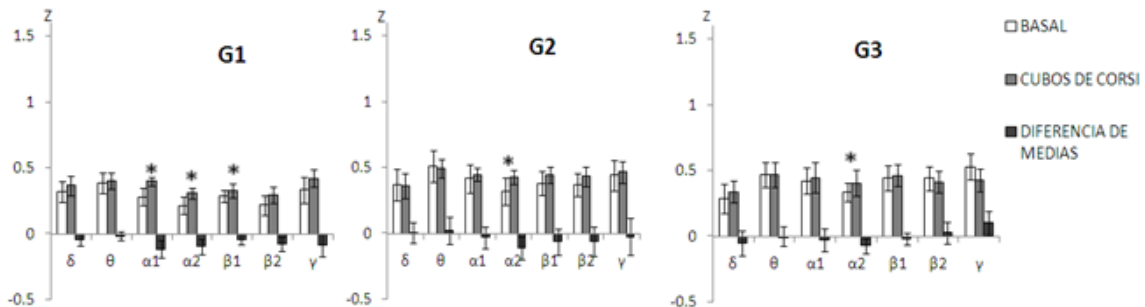


Figura 37. Media \pm 2 E.S. de la correlación intrahemisférica prefrontal dorsolateral-parietal izquierda (F3-P3), en los tres grupos, durante la condición basal y durante la ejecución de cubos de corsi, en todas las bandas registradas. * $p \leq 0.05$

En la correlación intrahemisférica prefrontal dorsolateral-parietal derecha (F4 – P4), se encontró una mayor correlación en el grupo 1 en las bandas alfa1 y alfa2 durante la ejecución de los cubos de Corsi (ver Figura 38).

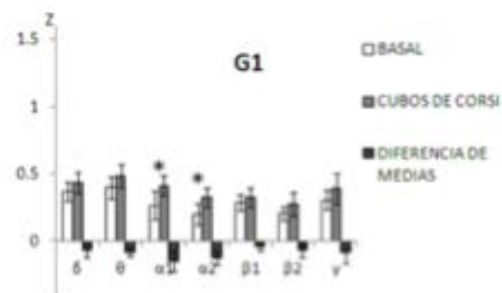


Figura 38. Media \pm 2 E.S. de la correlación intrahemisférica prefrontal dorsolateral-parietal derecha (F4-P4), en el grupo uno, durante la condición basal y durante la ejecución de cubos de corsi, en todas las bandas registradas. * $p \leq 0.05$

Discusión

La corteza prefrontal y sus numerosas conexiones con otras áreas corticales tales como la parietal, conforman una red neural que está particularmente implicada en la modulación de diversas funciones ejecutivas como la memoria de trabajo, la cual permite codificar, mantener y recuperar la información a corto plazo, que será relevante para realizar determinadas tareas, (Fuster, 2008).

Los resultados del presente estudio demuestran que durante la ejecución de la tarea de cubos de Corsi (una tarea que evalúa la memoria de trabajo visoespacial), los sujetos de mayor edad fueron más rápidos y eficaces para resolver tal tarea y que el grado de sincronización electroencefalográfica entre las cortezas prefrontales y parietales cambió en relación a la edad.

Se ha descrito que la madurez e integridad de los sustratos y redes cerebrales involucradas en los procesos cognitivos son condiciones indispensables para la adecuada ejecución de determinado tipo de tareas. En este sentido, existen trabajos que han demostrado importantes cambios neuroanatómicos, conductuales y electrofisiológicos en edades específicas (Rizo, 2009). Por ejemplo, se encontró que la sustancia gris en los lóbulos frontales y parietales aumenta durante la adolescencia alcanzando su máximo tamaño entre los 10 y 12 años de edad, seguido por un decremento durante la postadolescencia (Gieddet *al*, 1999). A nivel cognitivo, estos cambios anatómicos han sido asociados con procesos tales como la flexibilidad cognitiva, procesamiento de la información y toma de decisiones (Anderson et al. 2001). Conforme aumenta la edad (entre los 14 y 19 años), ocurre la maduración de otros procesos cognitivos como el control inhibitorio, la rapidez de procesamiento y la memoria de trabajo. Sin embargo, la mayoría de estudios coinciden en que es durante la tercera década de la vida (20-30 años) que la maduración cerebral y cognitiva están casi completas (Anderson 2008).

Los resultados conductuales de este trabajo, coinciden con la hipótesis de maduración cerebral y cognitiva a través de la edad, ya que ante la ejecución de la tarea de cubos de Corsi los sujetos de los grupos de mayor edad (18-20 y 26-30

años) fueron más rápidos y eficaces para resolverla. Si bien la latencia de inicio fue similar en los tres grupos de edad, los grupos 2 y 3 tuvieron más capacidad para retener la cantidad de cubos que conformaban cada secuencia y tuvieron un mayor número de respuestas correctas (ensayos correctos) en comparación con el grupo de menor edad. Resultados similares han sido publicados por Nichelli (2001) quien demostró que la capacidad del span va en aumento desde los 5 hasta los 13 años, y también, se ha comprobado que entre los 16 y los 18 años se presenta el pico máximo de ejecución (Murre, 2013, Waber, 2007) y que a partir de esta edad el span se mantiene estable conforme a la edad (Hester, 2004).

Por otro lado, Orsini (1994) también encontró un aumento significativo en el desempeño de cubos de Corsi conforme a la edad. Él evaluó a adolescentes de entre 11 y 16 años de edad y midió el número de ensayos realizados correctamente, cada ensayo integrado por secuencias de 2 a 9 cubos cada una. Este efecto de la edad sobre el desempeño de los cubos de Corsi ya había sido analizado por el mismo autor en otro estudio en el que evaluando a participantes de entre 20 y 99 años (Orsini, 1986), encontró que entre los 20 y los 30 años presentaron una media de número de respuestas correctas mayor que los participantes adolescentes. Este resultado también es acorde a lo encontrado por Crone et al. (2006) quienes reportaron que, durante la realización de una tarea de memoria de trabajo espacial, los participantes de menor edad (8 a 12 años), tuvieron un menor número de respuestas correctas, comparados con el grupo de mayor edad (de 18 a 25 años).

Además de lo anterior, en este estudio se encontró que sólo los sujetos del grupo de mayor edad (26-30 años) realizaron la tarea en un menor tiempo en comparación con los participantes de menor edad (11-13).

El hecho de que los sujetos de los grupos 2 y 3 hayan sido más eficaces para resolver la tarea de Cubos de Corsi demuestra que conforme avanza la edad, se alcanza una mayor capacidad de memoria de trabajo, lo cual coincide con lo sugerido por Luna et al., (2004) y Anderson (2008) quienes propusieron que la mayor eficiencia en la capacidad de memoria de trabajo alcanza los niveles de madurez en la etapa de adolescencia tardía.

Ya que los resultados conductuales mostraron un evidente incremento gradual de la capacidad de memoria de trabajo conforme avanzaba la edad, en este estudio se decidió complementar los resultados de ejecución mencionados anteriormente con los resultados del registro electroencefalográfico, lo cual nos permitió tener una visión más amplia de la funcionalidad de las áreas corticales que se ha sugerido están involucradas en la ejecución de la tarea de cubos de Corsi.

En la comparación electroencefalográfica entre grupos se encontró que, en la condición basal, el grupo 3 presentó una mayor correlación entre regiones frontopolares (Fp1-Fp2) y prefrontodorsolaterales (F3-F4) desde la banda alfa en adelante con respecto al grupo 1. Este mayor grado de acoplamiento funcional entre cortezas prefrontales se mantuvo en el grupo 3 durante la ejecución de cubos de Corsi, por lo que es probable que esta mayor correlación de las frecuencias rápidas sea un patrón EEG de madurez que se asoció con una mejor ejecución de la tarea. Esto puede ser apoyado por el hecho de que los sujetos del grupo 2, sólo durante la ejecución de cubos de Corsi mostraron un incremento de la correlación de las frecuencias rápidas, indicando que probablemente a la edad de 18-20 años aún no se ha alcanzado la suficiente madurez de las redes corticales prefrontales y por ende, al resolver la tarea de memoria de trabajo requirieron de mayores recursos cerebrales (es decir, mayor acoplamiento entre cortezas prefrontales) para resolverla adecuadamente. Esto puede estar apoyado por la mayor correlación entre regiones frontales, por una maduración gradual del cuerpo calloso (Nagy, 2004) ante la presencia de la banda gamma interhemisférica (entre F3-F4) que se ha relacionado con el reforzamiento de un objeto en la memoria de corto plazo o por la sincronización de áreas en la que está involucrada (Tallon-Baudry, 1999). La falta de correlación encontrada en este estudio en el grupo de los niños, entre áreas frontopolares se ha relacionado, en edades preescolares, con ejecución deficiente de tareas de memoria de trabajo (Wolfe, 2003).

El hecho de que en la condición basal no hubiera diferencias de correlación entre los grupos 2 y 3, pero sí de estos dos grupos con respecto al grupo 1,

podiera asociarse a algunas propuestas relacionadas con los cambios en el desarrollo de las oscilaciones de redes neuronales corticales, donde algunos estudios han demostrado que el fortalecimiento del acoplamiento en estados de reposo, es casi idéntico entre adolescentes y adultos jóvenes (Lüchinger et al., 2011) pero diferente entre adultos jóvenes y niños (Lüchinger et al., 2012). Asimismo, existen trabajos que afirman que existe una disminución en la potencia de todas las bandas, en menores de 15 años en comparación a lo encontrado en la edad adulta, particularmente en las bandas lentas (Segalowitz, 2010).

Respecto a la mayor correlación del grupo 2 y 3 a comparación del 1 durante la ejecución de los cubos de Corsi, Sauseng (2005) ha propuesto que las conexiones de áreas distantes son activadas por frecuencias de bandas lentas y las conexiones entre distancias cortas conducen frecuencias de bandas rápidas, de tal forma que el hecho de encontrar mayor correlación de bandas rápidas entre las áreas prefrontales, podría relacionarse con una mayor actividad de éstas áreas ante una tarea de memoria de trabajo para la manipulación de la información.

En el caso de la banda alfa, ésta se encuentra fuertemente relacionada con la codificación semántica (Klimesch, 1999), en tanto que la banda beta, se ha mencionado que se asocia con el desempeño de una tarea, puesto que permanece elevada durante el tiempo de retraso y decae junto con el desempeño del sujeto, por lo que se ha relacionado funcionalmente con el mantenimiento de las representaciones mentales durante las tareas de memoria de corto plazo, además de relacionarse con la preparación motora (Tallon-Baudry, 1999). La aparición del ritmo gamma dentro de las regiones prefrontales durante la tarea podría estar reflejando un sistema de comunicación sincrónica entre áreas espacialmente distribuidas, así como también se ha relacionado con la memoria de corto plazo, el alertamiento y la percepción (Rieder, 2011).

La correlación intrahemisférica entre regiones frontopolar y prefrontal dorsolateral izquierda (Fp1-F3), no presentó ningún cambio durante la ejecución de cubos de Corsi. Este hallazgo va acorde a lo propuesto por otros autores (Ardila & Roselli, 2007) acerca de la especialización hemisférica, en la cual se propone que el hemisferio izquierdo tiene una superioridad para el conocimiento

de la información verbal y el hemisferio derecho para el reconocimiento de parámetros no verbales. Dado que para la resolución de los cubos de Corsi entran en juego las destrezas visoespaciales pero no las verbales, era de esperarse una menor funcionalidad dentro de estas zonas, en la comparación entre grupos.

En la correlación intrahemisférica frontopolar y prefrontal dorsolateral derecha (Fp2-F4), durante la condición en reposo solamente los sujetos de mayor edad (G3) presentaron una mayor correlación de alfa 2 y beta 1 que se han relacionado en este caso con atención (Sauseng, 2005) y con la preparación motora (Tallon-Baudry, 1999). Así mismo, se ha demostrado una relación directa de la disminución de las frecuencias de bandas en la región frontal con la edad, probablemente por disminución de sustancia gris de esa área (Whitford, 2007). Durante la ejecución de los cubos de Corsi, tanto G2 como G3 presentaron un aumento en la correlación de las bandas rápidas (desde alfa 2 hasta gamma) respecto al grupo 1. Estos datos demuestran una evidente lateralización hemisférica preferente del lado derecho (tarea no verbal). Con respecto a la participación de estas áreas durante una tarea de memoria de trabajo, también se ha postulado que, debido a que anatómicamente están íntimamente conectadas, pudieran estar participando en la integración de la información necesaria para controlar la conducta para alcanzar una meta final puesto que participan en la organización y en la selección de la información relevante para tal efecto, obtenida de otras regiones cerebrales relacionadas con la memoria de largo plazo como los lóbulos parietales (Wolters, 2008, Christoff, 2000, Petrides, 2005). Esta propuesta se relaciona con la función del buffer episódico propuesto por Baddeley (2000), el cuál es capaz de integrar y mantener información de diferentes fuentes. Así mismo, la participación del hemisferio derecho en tareas de memoria de trabajo espacial ha sido demostrada por múltiples técnicas (Smith, 1996, van Asselen, 2006).

Relacionando los hallazgos electroencefalográficos con los resultados conductuales ya mencionados, se podría inferir que en el grupo de los adultos, se requiere el aumento de la conectividad funcional entre zonas frontales para la adecuada ejecución de la tarea de memoria de trabajo, lo cual iría en línea con la

función del ejecutivo central del modelo de memoria de trabajo (Baddeley, 2000) que se encarga del control atencional. Esta aseveración puede estar respaldada por el trabajo realizado por Spronk (2012), quien demostró que los adolescentes tienen menor capacidad de limitar la influencia de distractores presentados en el campo visual, en comparación con los adultos, quienes sí pueden hacerlo, para desempeñar mejor alguna tarea necesaria (Spronk, 2012).

En la comparación entre regiones frontopolar parietal izquierda (Fp1-P3), los grupos 2 y 3 presentaron una mayor correlación de las bandas theta y beta 2 en la condición basal, en tanto que durante la ejecución de Corsi, sólo el grupo 2 mantuvo esta mayor correlación en las mismas bandas. Es probable que esta carencia de correlación en el grupo 3 durante la realización de los cubos de Corsi sea un reflejo normal de la especialización hemisférica, al haber una disminución de la utilización de los recursos, que en el caso del grupo 2 debe mantenerse. Como ya se había mencionado, el hemisferio izquierdo tradicionalmente se ha asociado con funciones verbales, mientras que el derecho se ha asociado a funciones de tipo no verbal (visual-espacial) por lo que siendo necesarios los recursos visoespaciales para llevar a cabo la tarea cubos de Corsi, se presentó una menor activación del hemisferio izquierdo (van Asselen, 2006) pero sólo en los sujetos del grupo 3. Estos hallazgos podrían explicarse no solo en función de la especialización hemisférica ya comentada previamente, sino también por una disminución de la coherencia de las frecuencias rápidas, ya que se ha propuesto que, conforme se hace más grande la distancia entre dos áreas corticales que se encuentran conectadas íntimamente para determinada función, predominan las frecuencias lentas (Thatcher, 2006)

En la correlación frontopolar parietal derecha (Fp2-P4) se observó un patrón similar al observado en Fp1-P3, ya que durante la condición basal los grupos 2 y 3 presentaron mayor correlación de beta 2, pero durante la ejecución de los cubos de Corsi, sólo el grupo 2 mantuvo esta mayor correlación en la misma banda. Estos hallazgos concuerdan con la propuesta de lateralización hemisférica mencionada y también están de acuerdo con las conclusiones de Raghavachari (2005). Este autor, durante la ejecución de una tarea de memoria de trabajo,

encontró que a mayor distancia, mayor es el decaimiento de la sincronía entre áreas participantes (inclusive en comparación con áreas que no estaban involucradas con el proceso (Raghavachari, 2005), probablemente por la disminución en el número de conexiones (Thatcher, 2006). Con respecto a la conectividad prefronto-parietal, Bava y colaboradores, realizaron un estudio en el que midieron el desarrollo de la sustancia blanca cortical a participantes de 17.8 años de edad ya los 16 meses después de la primera evaluación. Encontraron que uno de los principales fascículos en desarrollarse era el fascículo longitudinal superior derecho a la edad de 19 años (Bava, 2010), demostrando que a mayor edad los sujetos cuentan con una conectividad mayor asociada a un mejor desempeño. El hecho de que en este estudio los sujetos de mayor edad (26-30 años) carezcan de correlación frontopolar – parietal derecha durante Corsi, sugiere que es probable que los sujetos del grupo G3 no requieran de esta conectividad funcional entre frontopolares y parietales para tener un adecuado desempeño de la tarea. Este patrón también puede explicarse en función a los cambios en la conectividad neuronal, marcada por la sinaptogénesis y por el aumento de la mielinización que se ha demostrado que se presenta durante la adolescencia y se establece durante la adultez temprana (Giedd, 1999), lo cual podría estar produciendo una conectividad más fina y especializada, para un mejor desempeño, conforme a la edad. La mayor correlación de la banda beta 2 (la cual está relacionada con recursos atencionales durante la condición basal), pudiese ser un reflejo de la misma condición del mantenimiento de ojos abiertos durante ese registro, sin embargo durante la ejecución de los cubos de Corsi se observa una disminución de esta misma banda solamente en el grupo 3, lo cual, acorde a los antecedentes señalados y a los resultados ya mencionados acerca de su presencia en regiones frontales, pudiese hablar acerca de su relación con las estrategias cognitivas necesarias para la tarea, además de su función en el mantenimiento de la memoria (Pesonen, 2006).

La correlación prefrontal dorsolateral-parietal izquierda (F3-P3) presentó en términos generales, tanto durante la condición basal como durante Corsi una mayor correlación de las bandas alfa2, beta 1 y beta 2 en los grupos 2 y 3

respecto al grupo 1. Los hallazgos obtenidos en estas zonas, dada la interpretación hemisférica previamente realizada, se entenderían en función de los recursos atencionales (Klimesch, 1999) y de la preparación motora (en el caso de beta) (Tallon-Baudry, 1999) que pudiera estar dando entre estas áreas izquierdas. Por otro lado, a través de técnicas de imagenología (PET), se ha podido observar una actividad del hemisferio izquierdo durante la realización de tareas de memoria de trabajo espacial en adultos jóvenes, particularmente en la corteza prefrontal y se ha especulado que se pudiese estar reflejando un proceso de reforzamiento de la información, sin embargo, se requieren estudios extra para afirmar o negar esta posibilidad (Reuter-Lorenz, 2000). Así también, se ha demostrado que el hemisferio izquierdo, principalmente las regiones parietales posteriores, tiene cierta participación en el procesamiento de información visoespacial, en la orientación espacial de los estímulos (Metha, Newcombe & Damasio, 1987). A raíz de estos hallazgos se ha postulado que ciertos procesamientos espaciales complejos, no manifiestan una marcada especialización hemisférica en comparación con otras funciones (por ejemplo el lenguaje) y que algunos de los componentes que subyacen la conducta visoespacial compleja son mediados por el hemisferio derecho y otros por el izquierdo, por ejemplo, se ha propuesto que el derecho regula los aspectos perceptuales de la tarea, mientras que el izquierdo media los componentes de la tarea que son más explícitamente de naturaleza ejecutiva (Rains, 2006).

La correlación prefrontal dorsolateral-parietal derecha (F4-P4) durante la condición basal presentó, en el grupo 3 y grupo 2, una mayor correlación de prácticamente todas las bandas, mientras que durante la ejecución de Corsi, la mayor correlación sólo se mantuvo en las bandas delta, theta, beta1, beta2 y gamma. El mayor grado de acoplamiento EEG entre regiones prefrontales y parietales del hemisferio derecho durante la ejecución de Corsi, pudiera estar acorde a la hipótesis de especialización hemisférica mencionada anteriormente. Estos resultados en la condición basal coinciden con lo reportado por Thatcher quien encontró que la conectividad entre regiones anteriores y posteriores aumenta conforme a la edad y que la coherencia dentro del hemisferio derecho va

en aumento, dado el crecimiento en las conexiones antero-posteriores (Thatcher, 2006), pudiendo estar reflejando el patrón de crecimiento de “U” invertida que presentan las fibras de las conexiones cortico-corticales (Thatcher, 2007), sin embargo, este autor afirma que las distancias entre regiones separadas, están asociadas con altas frecuencias en el EEG (Thatcher, 2007).

Respecto a la mayor correlación que se mantuvo durante la ejecución de los cubos de Corsi, existen trabajos que han reportado la participación de estas áreas durante la ejecución de tareas de memoria de trabajo (Klingberg, 2002) y además, que la banda delta pudiese estar sustentando la mayoría de la información relacionada con el nivel de carga en las tareas de memoria de trabajo, por estar relacionada con el incremento en concentración de los participantes (Zarjam, 2011). En relación a la mayor correlación de theta, se ha demostrado ampliamente que la banda theta fronto-parietal está fuertemente implicada en las tareas de memoria de trabajo y que el aumento en la coherencia iba en aumento conforme aumentaba el tiempo de retraso en la tarea y la banda gamma se pudiese estar relacionada con el procesamiento sensorial y con el aumento de la atención (Sarnthein, 1998). La presencia de la mayor correlación de la banda beta en estas áreas, pudiese relacionarse con la comunicación de diferentes neuronas de distintas áreas funcionales que procesan diferentes aspectos del mismo objeto (Singer & Gray, 1995) y respecto a la banda gamma, algunos autores han descrito que esta banda puede estar relacionada con el reforzamiento de las representaciones de los objetos en la memoria de corto plazo (Tallon-Baudry, 1999). Relacionando estos cambios electroencefalográficos en estas dos zonas podemos inferir su importancia para realizar tareas de memoria de trabajo, de manera eficiente en un menor tiempo.

Entre condiciones

En la comparación entre condiciones, se encontró que en términos generales la correlación entre áreas frontopolares (Fp1-Fp2) presentó muy pocos cambios durante la ejecución de Corsi tanto en el grupo 1 como en el grupo 3 (principalmente un decremento de la correlación de alfa 1 y un aumento de

gamma). Klimesch (1998) analizó la sincronización de las bandas y la relación de estas con las distintas funciones mentales que se presentan durante tareas cognitivas y sugirió que la desincronización de la banda alfa 1, pudiera estar reflejando un esfuerzo atencional ante distractores que se presenten (Klimesch, 1998). La presencia de la banda gamma en estas áreas, dado que las áreas frontopolares no reciben estimulación externa (Christoff, 2000), podría estar relacionado con el ajuste en la atención selectiva para encontrar nuevas soluciones a un problema (Riedel, 2011). Sólo el grupo 2 presentó durante Corsi una mayor correlación de las frecuencias rápidas (beta 1, beta 2 y gamma), lo cual podría sugerir, al igual que en la comparación entre grupos, que los sujetos de 18 a 20 años requirieron de un mayor acoplamiento entre áreas prefrontales para la adecuada ejecución de la tarea. El aumento de la correlación de beta en el grupo 2 podría relacionarse, como ha sido sugerido en otros estudios, con el proceso de reforzamiento de la memoria durante los tiempos de retraso en la tarea (Tallon-Baudry, 1999).

La correlación entre áreas prefrontales dorsolaterales (F3-F4), sólo en el grupo 1 presentó una menor correlación de alfa 1 y alfa 2 durante la ejecución de Corsi respecto a la basal. Si bien la desincronización de la banda alfa 1 se ha relacionado con procesos atencionales y la expectativa creada antes de un estímulo en tanto que alfa 2 se ha relacionado con el procesamiento semántico y el alertamiento (Klimesch, 1999), esta menor correlación de alfa no se asoció con un mejor desempeño, tal que los niños fueron menos rápidos y eficaces para resolver la tarea. Los grupos 2 y 3 presentaron una correlación similar tanto durante la basal como durante Corsi, lo cual podría indicar que en estos grupos el grado de acoplamiento funcional entre áreas prefrontales no requirió de cambios importantes para que los sujetos desempeñaran efectivamente la tarea.

En la correlación frontopolar prefrontodorsolateral izquierda (Fp1-F3), también sólo el grupo 1 presentó prácticamente el mismo patrón de desacoplamiento funcional entre regiones dorsolaterales, hallándose una menor correlación en la banda alfa 1 durante Corsi como único hallazgo significativo, mismo que podría entenderse como la contribución del hemisferio no

predominante para esta tarea en el esfuerzo atencional necesario para no permitir la influencia de factores externos distractores (Klimesch, 1999).

En la correlación entre zonas frontopolar prefrontal dorsolateral derecha (Fp2-F4) se encontró que sólo el grupo 1 tuvo una mayor correlación en las bandas rápidas como beta 1, beta 2 y gamma, aunque este mismo grupo tuvo el peor desempeño de los tres grupos. En relación a la banda gamma en estas conexiones, se ha observado su presencia varios segundos antes de una respuesta correcta, en comparación con respuestas incorrectas en un estudio en donde se realizaron juegos mentales y rompecabezas (Sheth, 2009) por lo que se piensa que pudiese estar relacionado en una introspectiva cognitiva (insight) y un desempeño subsecuente (Rieder, 2011). La presencia de la banda beta frontal, está relacionada con el aumento en el tiempo de retraso, lo cual produce una menor eficacia en los participantes en la tarea, por lo cual estará relacionada con el desempeño (Tallon-Baudry, 1999). También podría reflejar la activación de la representación de un objeto, sin importar si esta representación está activado por un procesamiento inferior-superior (bottom-up)(Tallon-Baudry, 1997). Así, estos datos muestran la mayor participación del hemisferio derecho en la resolución de la tarea de Corsi en los niños, la cual no fue suficiente para resolverla adecuadamente.

En la correlación entre zonas frontopolares y parietales izquierdas (Fp1-P3), los grupos 1 y 2 presentaron durante la ejecución de Corsi una mayor correlación de alfa 1, lo cual podría asociarse con un aumento en la atención. En tanto que el grupo 3 presentó una marcada disminución de la correlación en theta y gamma, lo cual indicaría que los sujetos de mayor edad requieren de un menor acoplamiento entre zonas frontales y parietales para realizar adecuadamente la tarea.

En la correlación frontopolar-parietal derecha (Fp2-P4), se encontró que sólo el G1 durante la ejecución de los cubos de Corsi manifestó una mayor correlación de alfa1 y alfa2, en tanto que en el grupo 2 y 3, al igual que en el caso de Fp1-P3, sólo ocurrió una tendencia a disminuir la correlación durante la tarea. Este resultado coincidiría con la propuesta de que a mayor edad, la correlación

entre áreas frontopolares y parietales no es tan importante (e incluso debe disminuir) para que los sujetos tengan una eficaz resolución de la tarea .

En la correlación prefrontal dorsolateral-parietal tanto izquierda (F3-P3) como derecha (F4-P4) se encontraron resultados muy coherentes con los obtenidos en la comparación entre grupos, ya que sólo los sujetos de menor edad (niños de 11 a 13 años) presentaron durante la ejecución de Corsi una mayor correlación de algunas bandas probablemente reflejando, como se ha mencionado anteriormente, recursos atencionales a la tarea (Klimesch, 1999), en tanto que los sujetos de mayor edad no presentaron cambios importantes en el grado de acoplamiento entre zonas prefrontales-parietales durante Corsi, sustentando la propuesta de que a mayor edad, la correlación entre áreas frontopolares y parietales no es crítica para el adecuado procesamiento en la memoria de trabajo.

Conclusiones

Los resultados conductuales de este trabajo, coinciden con la hipótesis de maduración cerebral y cognitiva a través de la edad, ya que ante la ejecución de la tarea de cubos de Corsi los sujetos de los grupos de mayor edad (18-20 y 26-30 años) fueron más rápidos y eficaces para resolverla que los sujetos de menor edad (11-13 años). El hecho de que los sujetos de los grupos 2 y 3 hayan sido más eficaces para resolver la tarea de cubos de Corsi demuestra que conforme avanza la edad, se alcanza una mayor capacidad de memoria de trabajo. Si bien en la comparación entre grupos se encontró que los sujetos de mayor edad (26-30 años) tanto en la basal como durante la ejecución de los cubos de Corsi mantuvieron una alta correlación entre áreas frontopolares (Fp1-Fp2) y prefrontodorsolaterales (F3-F4), los sujetos del grupo 2 sólo durante Corsi manifestaron un aumento de la correlación, lo cual podría indicar que para tener una eficaz resolución de la tarea, estos sujetos postadolescentes requirieron de un mayor acoplamiento entre zonas frontales.

El grado de acoplamiento entre zonas frontopolares y prefrontodorsolaterales (Fp1-F3, Fp2-F4) de los grupos 2 y 3 fue mayor respecto al grupo 1 sólo en el hemisferio derecho durante la ejecución de los cubos de Corsi, apoyando la propuesta de una mayor lateralización hemisférica del lado derecho a mayor edad durante la tarea visoespacial. Esta mayor correlación prefrontal, pudiese sugerir las bases anatómicas para la integración de información necesaria para la realización de tareas, lo cual compagina con la explicación que de Miller y Cohen quienes afirman que la prefrontal participa en el control ejecutivo de información sensorial proveniente de distintas regiones, necesaria para la ejecución de una tarea de memoria de trabajo. En la comparación entre condiciones sólo el grupo de niños (de 11 a 13 años) mostró mayor correlación de frecuencias rápidas en el hemisferio derecho en regiones

prefronto – parietales, durante Corsi respecto a la basal, lo cual no fue suficiente para lograr resolver la tarea adecuadamente.

Ya que los sujetos de mayor edad no presentaron cambios importantes en el grado de correlación de las diferentes bandas EEG entre las zonas frontopolares-parietales (Fp-P) y prefrontodorsolaterales-parietales (F-P) durante la ejecución de Corsi, se sugiere que a mayor edad no se requiere de un acoplamiento entre áreas frontales y parietales para manifestar una adecuada realización de la tarea cubos de Corsi.

Características Generales de los grupos

| GRUPO1 | | | | | | | |
|--------|------|--------------------------|------------------|----------------------|------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Sujeto | Edad | Coefficiente Intelectual | Detección visual | Detección de dígitos | Series sucesivas | Retención de dígitos progresión | Retención de dígitos regresión |
| G101 | 12 | 88 | 15 | 10 | 3 | 6 | 3 |
| G102 | 12 | 103 | 11 | 10 | 1 | 6 | 7 |
| G104 | 11 | 103 | 18 | 9 | 3 | 6 | 4 |
| G106 | 11 | 97 | 13 | 10 | 3 | 6 | 3 |
| G107 | 11 | 85 | 15 | 9 | 1 | 6 | 3 |
| G109 | 11 | 124 | 16 | 9 | 1 | 6 | 4 |
| G110 | 13 | 85 | 9 | 9 | 3 | 6 | 5 |
| G111 | 14 | 106 | 13 | 10 | 3 | 5 | 3 |
| G112 | 12 | 97 | 11 | 10 | 1 | 4 | 4 |
| G113 | 11 | 94 | 17 | 9 | 3 | 5 | 4 |
| G114 | 11 | 82 | 16 | 9 | 4 | 6 | 3 |
| G115 | 13 | 88 | 14 | 8 | 1 | 3 | 4 |

| GRUPO 2 | | | | | | | |
|---------|------|--------------------------|------------------|----------------------|------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Sujeto | Edad | Coefficiente Intelectual | Detección visual | Detección de dígitos | Series sucesivas | Retención de dígitos progresión | Retención de dígitos regresión |
| G201 | 19 | 112 | 17 | 10 | 3 | 5 | 5 |
| G202 | 19 | 121 | 19 | 10 | 3 | 8 | 5 |
| G203 | 21 | 100 | 22 | 10 | 3 | 6 | 5 |
| G205 | 18 | 106 | 18 | 9 | 3 | 8 | 4 |
| G206 | 18 | 106 | 17 | 10 | 1 | 6 | 5 |
| G207 | 19 | 109 | 23 | 10 | 3 | 7 | 5 |
| G208 | 21 | 91 | 22 | 9 | 3 | 6 | 5 |
| G209 | 20 | 97 | 23 | 9 | 0 | 7 | 4 |
| G210 | 20 | 97 | 5 | 10 | 1 | 6 | 3 |
| G215 | 19 | 103 | 17 | 9 | 3 | 5 | 5 |
| G216 | 20 | 94 | 17 | 9 | 1 | 6 | 4 |
| G217 | 18 | 103 | 22 | 9 | 3 | 6 | 3 |

| GRUPO 3 | | | | | | | |
|---------|------|------------------------|------------------|----------------------|------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Sujeto | Edad | Coficiente Intelectual | Detección visual | Detección de dígitos | Series sucesivas | Retención de dígitos progresión | Retención de dígitos regresión |
| G301 | 28 | 97 | 22 | 10 | 1 | 5 | 4 |
| G302 | 28 | 106 | 18 | 9 | 3 | 7 | 3 |
| G303 | 29 | 121 | 24 | 10 | 3 | 6 | 4 |
| G304 | 26 | 88 | 14 | 10 | 1 | 5 | 3 |
| G305 | 28 | 121 | 19 | 9 | 1 | 5 | 4 |
| G306 | 26 | 112 | 22 | 10 | 3 | 7 | 4 |
| G309 | 25 | 100 | 17 | 10 | 3 | 5 | 3 |
| G310 | 33 | 103 | 13 | 9 | 3 | 6 | 4 |
| G311 | 30 | 100 | 19 | 9 | 1 | 4 | 4 |
| G312 | 25 | 91 | 21 | 9 | 0 | 7 | 4 |
| G313 | 31 | 97 | 19 | 10 | 3 | 6 | 4 |
| G314 | 27 | 109 | 24 | 9 | 3 | 7 | 4 |

Referencias

- Anderson, T. J., Jenkins, I. H., Brooks, D. J., Hawken, M. B., Frackowiak, R. S. J. & Kennard, C. (1994). Cortical control of saccades and fixation in man: a PET study. *Brain*, 117:1073-1084.
- Anderson, V., Anderson, P., Northam, E., Jacobs, R. & Catroppa, C. (2001) *Development of executive functions through late childhood and adolescence: An Australian sample. Developmental neuropsychology*, 20, 385-406.
- Andreassi, J. L. (2000). *Psychophysiology, Human Behavior and Psychological Response*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers, London. 4th. Edition.
- Ardila, A. & Ostrosky-Solis. (2008). Desarrollo histórico de las funciones ejecutivas. En; A. Ardila (Ed), *Funciones ejecutivas* Medellín: Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias, 1-21.
- Aquino, C. J., Aneiros, R. R., & Rojas, Z. L. (1999). El Electroencefalograma y la Onda P300 en Psiquiatría: Las Toxicomanías.
- Ardila, A. & Roselli, M. (2007). *Neuropsicología Clínica*. México: Editorial El Manual Moderno.
- Baddeley, A. D., Logie, R., Bressi, S., Della Sala, S., & Spinnler, H. (1986). Dementia and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 38A:603-618.
- Baddeley, A. (1986b). Exploring the Central Executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49^a: 5-28.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Elsevier Science* 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. (1996b). Exploring the Central Executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A, (1), 5 – 28.
- Baddeley, A. & Hitch, G. (1974). Working memory. En G. H. Bower (ed). *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, New York: Academy Press, 47-89.
- Bava, S., Thayer, R., Jacobus, J., Ward, M., Jernigan, T. & Tapert, S. (2010)

- Longitudinal Characterization of White matter Maturation During Adolescence. *Brain research*, 1327, 38-46.
- Berger, H. (1929). Über das Elektrenkrankheitendes Menschen. Archivfür *Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 87, 527-570.
- Brodmann, K. (1912). Neue Ergebnisseüber die vergleichen de histologische Localisationder Grosshirnrindemitbesonderer Berücksichtigung des Stirnhirns. *Anat. Anz* 41, 157-216.
- Buskist, W. & Gerbing, D, (1990) Memory. En: W. Buskist & D. Gerbing (Eds) *Boundaries and frontiers of psychology*. Brown Higher Education
- Christoff, K. & Gabrieli, J. (2000) he frontopolar cortex and human cognition:Evidence for rostrocaudalhierarchicalorganization within the human prefrontal cortex. *Psychobiology*, 28, (2), 168-186.
- Cohen, N. J. & Squire, L. R. (1980). Preserved learning and retention of pattern analyzing skill in amnesia: dissociation of knowing how and knowing that. *Science* 210, 207–209.
- Cowan, N. (1998). Visual and auditory working memory capacity. *Trends in cognitive science*, 2, 77-78.
- Corbetta, M., Akbudak, E., Conturo, T. E., Snyder A. Z., Ollinger, J. M., Drury, H. A., Linenweber, M. R., Petersen, S. E., Raichle, M. E., Van Essen, D. C. & Shulman, G. L. (1998). A common network of functional areas for attention and eye movements. *Neuron*, 21, 761-73.
- Corsi, P. M. (1972), Human memory and the medial temporal region of the brain. *Dissertation Abstracts International*, 34, (02), 105-77717).
- Crone E., Wendelken C., Donohue S., van Leijenhorst L. & Bunge, S. (2006). Neurocognitive development of the hability to manipulate information in working memory. *Proceedings of National Academy of Sciences* 103, (24), 9315-9320.
- D'Esposito, M., Aguirre, G. K., Zarahn, E., Ballard, D., Shin, R. K. & Lease, J. (1998). Functional MRI studies of spatial and nonspatial working memory. *Brain Cognition Research*.7, 1-13.

- Damasio, A. R., Tranel, D. & Damasio, H. (1991). Somatic markers and guidance of behavior: theory and preliminary testing. En: H. S. Levy, Eisenberg and A. L. Benson (Eds). *Frontal lobe function and Dysfunction*, New York: Oxford University Press, 217-229.
- De Luca, R. & Leventer, R. (2008) Developmental trajectories of executive functions across life span. En: V. Anderson, R. Jacobs, P. Anderson (Eds) *Executive Functions and the Frontal Lobe*, New York: Psychology Press, 23-47.
- Diamond, A. (2002) Normal development of Prefrontal Cortex from Birth to Young Adulthood: Cognitive Functions, Anatomy and Biochemistry. En D. Stuss, R. Knight (Eds) *Principles of frontal lobe function*, New York: Oxford University Press (466-502).
- Duncan, J. & Owen, A. (2000) Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands *Trends in neuroscience*, 23, 475-483
- Eidelberg, D. & Galaburda, A. M. (1984) Inferior parietal lobule: divergent architectonic asymmetries in the human brain. *Achieves of Neurology* 41, 843-852.
- Fuster, J.M. (2001). The prefrontal cortex- An update: Time is of the essence. *Neuron*, 30, 319-333.
- Fuster, J.M. (2002) Frontal lobe and cognitive development. *Journal of Neurocytology*, 31, 373-385.
- Fuster, J.M. (2008). *The Prefrontal Cortex*. Oxford: Academic Press.
- Fuster, J., M. (1995). *Memory in the Cerebral Cortex. An Empirical Approach to Neural Networks in the Human and Nonhuman Primate* Cambridge: MIT Press.
- Gevins, A.S., Zeitlin, G. M., Doyle, J.,C., Schaffer, R.,E. & Callaway, E. (1979a). EEG patterns during 'cognitive' tasks. II. Analysis of controlled tasks. *Electroencephalography Clinical Neurophysiology*, 47, 704-710.

- Gevins, A., Smith, M., Mc Evoy, L. & Yu, D. (1997) High resolution EEG Mapping of Cortical Activation Related to Working Memory: Effects of Task Difficulty, Type of Processing and Type. *Cerebral Cortex*, 7, 374–385.
- Giedd, J.N., Blumenthal, J., Jeffries, N.O., Castellanos, F.X., Liu, H., Zijdenbos, A., Paus, T., Evans, A.C. & Rapaport, J. L. (1999b). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2, (10), 861-863.
- Guevara, M.A., Hernández-González, M., & Sanz, A. (2010). Señales electroencefalográficas. En; M. Guevara, M. Hernández-González, A. Sanz (Eds.). *Programas computacionales para análisis de señales bioeléctricas y evaluación cognoscitiva*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara. (21-28).
- Guevara, M.A., Hernández-González, M., Sanz, A. & Amezcua, C. (2011). Programas computacionales para evaluar funcionalidad cognoscitiva. En; L., Chacón, J., Roca, J., Barrada, A., Rivera (Eds.). *Cómo tomamos decisiones: cuerpo, mente y estilos de vida*. Guanajuato: Universidad de Guanajuato (129-170).
- Guevara, M.A., Ramos-Loyo, J., Hernández-González, M., Madera-Carrillo, H & Corsi-Cabrera, M. (2000). CAPTUSEN: Un sistema para la adquisición computarizada del EEG y los potenciales relacionados a eventos. *Revista Mexicana de Psicología*, 17, (1), 77-88.
- Gumá, E., (2001) La memoria humana En Alcaraz, V., Gumá, E. (Eds) *Texto de Neurociencias Cognitivas* México: Manual Moderno, 195-234.
- Hebb, D. O. (1949). *The Organization of Behavior: a Neuropsychological Theory* (New York: Wiley).
- Hecaen, H. (1964). Mental symptoms associated with tumors of the frontal lobe. En: Warren, J. M. and Akert, A. (eds), *The Frontal Granular Cortex and Behavior*. New York, NY: McGraw Hill, 335-352.
- Hester, R., Kinsella, G., Ong, B. (2004) Effect of age on forward and backward span tasks. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 10, (4) 475-481.

- Hyvarinen J. & Poranen, A. (1974). Function of the parietal associative area 7 as revealed from cellular discharge in alert monkeys. *Brain*, 97, 673-692.
- Hyvarinen, J. & Shelepin, Y. (1979). Distribution of visual and somatic functions in the parietal associative area 7 of the monkey. *Brain research*, 1969, 561-564.
- Hivärinen, J. (1982). Neural connections in the parietal lobe of monkeys. En H., Barlow, H., Bullock, E., Florey, O. Grüser, A., Peters (Eds). *The parietal cortex of Monkey and Man*. Munich: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 43-47.
- James, W., (1890). *The principles of Psychology*, New York: Holt.
- Jasper, H., (1958). Report of the Committee on Methods of Clinical Examination in Electro encephalography. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 370-375.
- Kandel, E. (2000), Touch. En E. Kandel, J. Schuartz, J. Jessell (Eds). *Principles of Neural Science*; New York: McGraw-Hill. 451-471.
- Kandel, E.R. (2007). *En busca de la memoria. Una nueva ciencia de la mente*, (Ed) Katz Barpal, Buenos Aires.
- Kemps, E., Rammelaere, S. & Desmet, T. (2000). The Development of Working Memory: Exploring the Complementarity of Two Models. *Journal of Experimental Child Psychology*, 77, 89–109.
- Kessels, R., van der Berg, E., Ruis, C. & Brands, A. (2008). The backward span of the Corsi Block-Tapping Task and its Association with the WAIS-III Digit Span. *Assesment*, 15, 426.
- Kim, J.S., Hassler, R., Haug, P. & Kwang-Se, P. (1977) Effect of frontal cortex ablation on striatal glutamic acid level in rat. *Brain Resumee*, 132, 370-374.
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Russegger, H. & Pachinger, T. (1996). Theta band power in the human EEG and the encoding of new information. *Neuroreport* 7, 1235-1240.

- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Schwaiger, J., Auinger, P. & Winkler, T. (1999) "Paradoxical" alpha synchronization in a memory task. *Cognition Brain Resumes* 7, 493-501.
- Klingberg, T., O'Sullivan, B. & Roland, P. (1997). Bilateral activation of Fronto-Parietal Networks by Incrementing demand in a Work Memory Task *Cerebral Cortex*, 7, 465–471.
- Klingberg, T., Forssberg, H. & Westerberg, H. (2002) Increased brain activity in frontal and parietal cortex underlies the development of visuospatial working memory capacity during childhood. *Journal of cognitive neuroscience*, 14, (1) 1-10.
- Knowlton, B. J., Mangels, J. A. & Squire, L. R. (1996). A neostriatal habit learning system in humans. *Science*, 273, 1399–1402.
- Koenings, M., Barbey, A., Postle, B., Grafman, J., (2009) Superior parietal cortex is critical for the manipulation of information in working memory *Journal of Neurosciencie*, 29, (47), 14980–14986.
- Leung, H.,C., Gore, J., C. & Goldman-Rakic, P. (2005) Differential Anterior Prefrontal Activation during the Recognition Stage of a Spatial Working Memory Task. *Cerebral Cortex*, 15, 1742-1749.
- Logie, R.H. (1995). Visuospatial working memory. Hove: Lawrence Erlbaum.
- Luna, B., Sweeney, J. (2001) Studies of brain and cognitive Maturation Through Childhood and adolescence: A strategy for testing neurodevelopmental Hypotheses. *Schizophrenia Bulletin*, 27, (3), 443-455.
- Lüchinger. R., Michels, L., Martin, E. & Brandeis, D. (2011) EEG-Bold correlations during (post-) adolescent brain maduration. *Neuroimage*, 56 1493-1505.
- Lüchinger, R., Michels, L., Martin, E. & Brandeis, D. (2012) Brain state regulation during normal development: Intrinsic activity fluctuations in simultaneous EEG-fMRI. *Neuroimage*, 60, 1426-1439.
- Luria AR (1966). Higher cortical functions in man. New York: Basic Books.

- McEvoy, L. K., Pellouchoud, E., Smith, M. E. & Gevins, A. (2001) Neurophysiological signs of working memory in normal aging. *Cognition Brain Resume*, 11, 363-376.
- Metha, Z., Newcombe, F. & Damasio, H. (1987) A left hemisphere contribution to visiospatial processing. *Cortex*, 23, 447 - 461.
- Miller, G. A., Galanter, E. & Pribram, K., H. (1960). Plans and the Structure of Behavior. New York: Henry Holt and Company.
- Miller E., Cohen, J. (2001) An Integrative Role of the Prefrontal Cortex. *Annual Review of Neuroscience*. 24, 167-202.
- Milner, B., Squire, L. & Kandel, E. (1998) Cognitive Neuroscience and the Study of memory. *Neuron*, 20, 445–468.
- Morgado, I. (2005) Psicobiología del aprendizaje y la memoria. *Cuadernos de Información y Comunicación*, 10, 233-221.
- Morris, R., Pandya, D. N. & Petrides, M. (1999a) Fiber system linking the mid-dorsolateral frontal cortex with the retrosplenial / presubicular region in the rhesus monkey. *The Journal Comparative Neurology*, 407, 183–192.
- Murre, J., Janssen, S., Rouw, R., Meeter, M. (2013) The rise and fall of immediate and delayed memory for verbal and visuospatial information from late childhood to late adulthood. *Acta psychologica*, 142, 96-107
- Nagy, Z., Westerberg, H., Klingberg, T. (2004) Maturation of white matter is associated with the development of cognitive functions during childhood. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 1227-1233.
- Nichelli, F., Bulgheroni, S., Riva, D. (2001) Developmental patterns of verbal and visuospatial spans. *Neurology science*, 22, 377–384.
- Niedermeyer, E. (2005). The Normal EEG of the Waking Adult. En; E. Niedermeyer, F. Lopes da Silva; *Electroencephalography 5th Edition* Amsterdam: Lippincott Williams & Wilkins (167-192).
- Onton, J., Delorme, A. & Makeig, S. (2005). Frontal midline EEG dynamics during working memory. *Neuroimage*, 27, 341-356.

- Orsini, A. (1994). Corsi's Block-Tapping Test: Standardization and Concurrent Validity With WISC-R For Children Aged 11 to 16. *Perceptual Motor Skills*, 79, 1547-1554.
- Orsini, A., Chiacchio, I., Cinque, M., Cocchiaro, C., Schiappa, O. & Grossi, D. (1986) Effects of age, education and sex on two test of immediate memory: a study of normal subjects from 20 to 99 years of age. *Perceptual and motor skills*, 63, 727-732.
- Ostrosky-Solis, F., Ardila, A., Roselli, M., (1997) Evaluación Neuropsicológica Breve en Español (NEUROPSI). México, D.F: Publingenio S.A. de C.V.
- Packard, M.G., Hirsh, R. & White, N., M. (1989) Differential effects of fornix and caudate nucleus lesions on two radial maze tasks: evidence for multiple memory systems. *Journal of Neuroscience*, 9, 1465–1472.
- Pesonen, M., Hämäläinen, H. & Krause, C. (2007) Brain oscillatory 4-30 Hz responses during a visual n-back memory task with varying memory load. *Brain research*, 1138, 171-177.
- Perenin, M. & Vighetto, A. (1988) Optical ataxia: a specific disruption in visuomotor mechanisms. I. Different aspects of the deficit in reaching for objects. *Brain*, 111, 643-674.
- Petrides M. (2005). Lateral prefrontal cortex: architectonic and functional organization. *Philosophical Transaction of the Royal Society*, 360, 781-795.
- Petrides, M. & Pandya, D. N. (1984). Projections to the frontal cortex from the posterior parietal region in the Rhesus-monkey. *Journal of Comparative Neurology*, 228, 105-1166.
- Petrides, M. (1996). Specialized systems for the processing of mnemonic information within the primate frontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 351, 1455–1462.
- Pfurtscheller, G. & Neuper, C. (1992). Simultaneous EEG 10 Hz desynchronization and 40 Hz synchronization during finger movements. *Neuro Report*, 3, 1057-1060.

- Pollman, S. & von Cramon, Y. (2000). Object working memory and visuospatial processing: functional neuroanatomy analyzed by event-related fMRI. *Executive control and the frontal Lobe: Current issues*, 2, 12-22.
- Posner, M. I., Petersen, S. E., Fox, P. T. & Raichle, M. E. (1988) Localization of cognitive operations in the human brain, *Science*, 24, 1627-1631.
- Preuss, T.M. & Goldman-Rakic, P. S. (1989). Connections of ventral granular frontal cortex of macaques with presylvian premotor and somatosensory areas: anatomical evidence for somatic representation in primate frontal association cortex. *Journal of comparative Neurology*, 282, 293-316.
- Rains, D. G. (2006) Principios de Neuropsicología humana, México: McGraw-Hill, 153-186.
- Raghavachari, S., Lisman, J.E., Tully, M., Madsen, J.R., Bromfield, B. & Kahana M.J. (2005) Theta oscillations in human cortex during a working-memory task: evidence for local generators. *Journal of neurophysiology*, 95, 1630-1638.
- Raichle, M., E. (1994) Images in the mind: Studies with modern imaging techniques. *Annual Review of Psychology*, 45, 333-356.
- Reuter-Lorenz, P., Jonides, J., Smith, E., Hartley, A., Miller, A., Marshuetz, C. & Koeppel, R. (2000) Age Differences in the Frontal Lateralization of Verbal and Spatial Working Memory Revealed by PET *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, (1) 174-187.
- Rieder, M., Rahm, B., Williams, J. & Kaiser, J. (2011) Human gamma-band activity and behavior. *International Journal of Psychophysiology*, 79, 39-48.
- Rizo, L. Correlación electroencefalográfica prefrontoparietal durante la ejecución de torres de Hanoi en niños, adolescentes y adultos jóvenes. Tesis (Maestría en Neurociencia). Guadalajara, Jalisco, Universidad de Guadalajara.(2009). 138 p.
- Roselli, M., Matute, E. & Ardila, A. (2010) Desarrollo cognitivo y maduración cerebral. En M. Roselli, E. Matute, A. Ardila (Eds). *Neuropsicología del desarrollo infantil* México: Editorial Manual Moderno, 15-41.

- Rudkin, S., Pearson, D. & Logie, R. (2007). Executive processes in visual and spatial working memory tasks, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60, (1) 79 – 100.
- Rylander, G. (1939). Personality changes after operations on the frontal lobes. London : Oxford University Press.
- Sakata, H., Shibutani, H. & Kawano, K. (1980). Spatial properties of visual fixation neurons in posterior parietal association cortex of the monkey. *Journal of Neurophysiology*, 43, 1654-1672.
- Sarnthein, J., Petsche, H., Rappelsberger, P., Shaw, G.L. & von Stein, A. (1998) Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during human working memory.
- Sauseng, P., Klimesch, W., Doppelmayr, M., Hanslmayr, S., Schabus, W. & Gruber, W. (2005) Theta coupling in the human electroencephalogram during a working memory task. *Neuroscience Letters*, 354, 123-126.
- Scoville, W., B. & Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 20, 11–21.
- Segalowitz. S., Santesso, D. & Jetha, M. (2010) Electrophysiological changes during adolescence: review. *Brain and cognition*, 72, 86-100.
- Scott, D. (1976). ¿Qué sucede en el departamento de EEG? Understanding EEG: an Introduction to electroencephalography. En; D.F. Scott., (Ed) Philadelphia: Lippincott, 1-17.
- Singer, W. & Gray, C. (1995) Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis. *Annual review of neuroscience*, 28, 223-250.
- Squire, L.R. & Zola-Morgan, S. (1991). The medial temporal lobe memory system. *Science*, 253, 1380–1386.
- Squire, L.R., (2004) Memory systems of the brain: A brief history and current perspective. *Neurobiology of learning and memory*, 82, 171-177.
- Sheth, B., Sandkühler, S. & Bhattacharya J. (2008) Posterior beta and anterior gamma oscillations predict cognitive insight. *Journal of cognitive neuroscience*, 21, (7) 1269-1279.

- Sowell, R., Thompson, P., Colin, J., Holmes, C., Jernigan, T., Toga, A., (1999) In vivo evidence for post-adolescent brain maturation in frontal and striatal regions. *Nature America*, 2, 859-861.
- Sowell, E., Thompson, P., Tessner, K., Toga, A., (2002) Mapping Continued Brain Growth and Gray Matter Density Reduction in Dorsal Frontal Cortex: Inverse Relationships during Postadolescent Brain Maturation. *The Journal of Neuroscience*, 22, 8819-8829.
- Smith, E., Jonides, J. & Koeppe, R. (1996) Dissociating Verbal and Spatial Working memory using PET. *Cerebral cortex*, 6, 11-20.
- Steriade, M. (2005). Cellular substrates of Brain Rhythms. En; E. Niedermeyer, F. Lopes da Silva; *Electroencephalography 5th Edition* Amsterdam: Lippincott Williams & Wilkins, 31-85.
- Sterman, M. B., Mann, C. A., Kaiser, D. A. & Suyenobu, B. Y. (1994) Multiband topographic analysis of a simulated visuomotor aviation task. *International Journal of Psychophysiology*, 16, 49–56.
- Sprong, M., Vogel, E. & Jonkman, L. (2012) Electrophysiological Evidence for Immature Processing Capacity and Filtering in Visuospatial Working Memory in Adolescents *PLoS ONE*, 7, (8) 1-10.
- Tejeiro, J. (2008). EEG Normal. En; J. Tejeiro (Ed). *Electroencefalografía Clínica Básica*, Madrid: Viguera Editores, 125-167.
- Tesche, C. D. & Karhu, J. (1999). Theta oscillations index human hippocampal activation during a working memory task. *Neurobiology*, 97, 919-924.
- Thatcher, R.W., Biver, C.J. & North, D. (2006) Spatial-Temporal current source correlations and cortical connectivity.
- Thatcher, R.W., North, D.M. & Biver, C.J. (2007) Development of cortical connections as measured by EEG coherence and phase delays.
- Thomason, M., Race, E., Burrows, B., Whitfield-Gabrieli, S., Glover, G., Gabrieli, J., (2009). Development of Spatial and Verbal Working Memory Capacity in the Human Brain. *Journal of Cognitive Neuroscience* 21(2) 316–332.

- Tsoneva, T., Baldo, D., Lema, V. & Garcia-Molina, G. (2011). EEG-Rhythm Dynamics during a 2-back Working Memory Task and Performance. Eindhoven: Philips Research Europe.
- Tulving, E., (1987). Multiple memory system and consciousness. *Human Neurobiology*, 6, 67-80.
- Tulving, E., (1989) Remembering and knowing the past. *American Scientist*, 77, 361-367.
- Van Asselen , M., Kessels, R., Neggers, S., Kappelle, L., Frijns, C. & Postma, A (2006) Brain areas involved in spatial working memory. *Neuropsychologia*, 44, 1185-1194.
- Waber, D., De Moor, C., Forbes, P., Almli, R., Botteron, K., Leonard, G., Milovan, D., Paus, T., Rumsey, J. & The brain development cooperative group (2007) The NIH MRI study of normal brain development: Performance of a population based sample of children aged 6 to 18 years on a neuropsychological battery. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 13 1-18.
- Wechsler, D. (1998). WAIS-Español Escala de Inteligencia para Adultos. ED. El Manual Moderno; México.
- Wechsler, D. (2001) *WAIS-III Escala Wechsler de inteligencia para adultos III*. El Manual Moderno; México.
- Wolfe, Ch. & Bell, A. (2003) Working memory and inhibitory control in early childhood: contributions from physiology, temperament and language. *Developmental psychobiology* 44, 68-83.
- Wolters, G. & Raffone, A. (2008) Coherence and recurrency: maintenance, control and integration in working memeory. *Cognitive processes*, 9, 1-17.
- Zarjam, P., Epps, J. & Chen, F. (2011) Characterizing working memory load using delta activity. European signal processing conference. 1554-1558.
- Zilles, K., Eickhoff, S. & Palomero-Gallagher, N. (2003). The Human Parietal Cortex: A Novel Approach to Its Architectonic Mapping. En: A. Siegel, R. Andersen, H. Freund, D. Spencer (Eds). *The parietal lobes* Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1-21.

Anexos

FORMATO INFORMATIVO Y SOLICITUD DE CONSENTIMIENTO

INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS. UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA.
LABORATORIO DE CORRELACIÓN ELECTROENCEFALOGRÁFICA Y CONDUCTA

Usted está invitado a participar en un estudio de investigación orientado a evaluar la correlación cerebral por medio del electroencefalograma durante la ejecución de tareas que requieren funciones ejecutivas, el cual durará una sesión. Por esta razón, a través de este formato, le estamos solicitando su consentimiento para aplicarle ciertas pruebas clínicas y neuropsicológicas así como un registro electroencefalográfico.

INFORMACIÓN

1. Los procedimientos que se seguirán, son métodos NO INVASIVOS e INDOLOROS.
2. Tanto los directores del proyecto como los responsables de las sesiones de registro y análisis de datos son profesionales en el área de la investigación y están ampliamente capacitados para llevar a cabo este proyecto.
3. La identidad de todos los participantes en los registros se mantendrá anónima.
4. La información y los resultados de la investigación no serán usados para ningún propósito engañoso.
5. Todos los datos que resulten relevantes para el interés científico serán publicados en revistas especializadas y representarán los datos de toda una muestra.

RIESGOS

No hay riesgos previsible en esta investigación ni antes ni después de todo el procedimiento.

BENEFICIOS

La aplicación de pruebas clínicas y neuropsicológicas es una herramienta muy utilizada para diagnóstico en diferentes instituciones de salud y de investigación en todo el mundo. Además, el registro electroencefalográfico es una técnica ampliamente utilizada en el diagnóstico de alteraciones de la actividad eléctrica cerebral, como son epilepsia o tumores entre otras. Al participar en este proyecto, el registro realizado pudiera servirle como una referencia del estado de salud que guarda el sistema nervioso central de la participante, así como de un pequeño índice en el diagnóstico de su estado clínico y neuropsicológico.

NIVEL DE CONFIANZA

Los materiales de investigación sólo estarán al acceso del grupo de trabajo del laboratorio de Correlación electroencefalográfica y conducta y de las personas responsables de la atención del participante; no serán usados sin el permiso del jefe del mismo.

PARTICIPACIÓN

Su participación en este estudio es voluntaria. Si usted decide no participar puede retirarse del estudio sin problema alguno.

CONSENTIMIENTO

He leído este formato y he recibido una copia de él. Todas mis interrogantes con respecto a mis intereses particulares han sido contestadas satisfactoriamente. Por consiguiente, estoy de acuerdo en participar en este estudio.

*Si usted tiene preguntas en algún momento acerca de este estudio o los procedimientos, debe contactar a los responsables del proyecto: Lic. Médico Cirujano Jorge Carlos Hevia Orozco, Dr. Miguel Ángel Guevara Pérez y Dra. Marisela Hernández González. Adscritos a: Instituto de Neurociencias, CUCBA, Universidad de Guadalajara. Calle Francisco de Quevedo 180, col. Arcos Vallarta, Guadalajara, Jalisco C.P. 44130. Teléfono: 38180740 ext. 33360 y 33362. Correo electrónico: jhevia@hotmail.com; mguevara@cencar.udg.mx; mariselh@cencar.udg.mx

Nombre y firma de la participante: _____

Guadalajara, Jalisco a _____ de _____ de 20__

CUESTIONARIO DEMOGRAFICO

La información que usted nos proporcione será confidencial y solamente será utilizada para fines de la investigación en la cual usted participa, es decir, ningún resultado que se presente de este estudio hará referencia a personas en particular.

Firma de la entrevistado certificando que aceptó contestar

FECHA: _____

I. DATOS DE IDENTIFICACIÓN

N O M B R E _____

DIRECCIÓN Y TELÉFONO _____

FECHA DE NACIMIENTO/EDAD _____

OCUPACIÓN _____

II. NIVEL EDUCATIVO

III. SALUD

¿Cómo calificaría su estado de salud actual?

Muy bueno Bueno Regular Malo Muy malo

¿Padece alguna enfermedad crónica orgánica, psiquiátrica o neurológica?

NO

SÍ especifique _____

IV. ESTADO CIVIL

V. Consumo de sustancias

Alcohol _____

Tabaco _____

Otros _____

Edad de inicio de consumo _____

Frecuencia _____

VI. ACCIDENTES

VII. ENFERMEDADES INFECCIOSAS

VIII. TRATAMIENTOS PSIQUIATRICOS O NEUROLOGICOS

IX. SUEÑO

Horas al día _____