



# Universidad Autónoma de Baja California

Escuela de Ciencias de la Salud  
Valle de las Palmas

## MEMORIA DE TRABAJO Y RENDIMIENTO ACADÉMICO EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS: UN ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL ELECTROENCEFALOGRAMA

TESIS

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN PSICOLOGÍA

POR

BRIANDA ELIZETH JIMÉNEZ HIGUERA

DIRECTOR DE TESIS: DRA. MARÍA LUISA GARCÍA GOMAR

TIJUANA, B. C, ENERO 2019



## Resumen

El rendimiento académico (RA) implica la suma de múltiples factores que actúan para que un individuo logre aprender y es un factor fundamental para la valoración de la calidad educativa. Uno de los factores es la memoria de trabajo (MT), la cual contribuye al éxito académico. El objetivo de la presente investigación fue conocer las diferencias conductuales y de la actividad eléctrica cerebral asociada a una tarea de MT verbal entre estudiantes universitarios de bajo y alto RA de la Escuela de Ciencias de la Salud. Se realizó una tarea de MT del paradigma de Sternberg sincronizada a un equipo de Electroencefalograma (EEG). Se analizó el espectro de potencia del EEG durante tres estados: reposo, atención y MT. Los resultados señalan que el grupo de bajo RA tuvo significativamente mayor número de respuestas correctas que el grupo de alto RA (191 vs 186 respectivamente). Respecto a la actividad eléctrica cerebral en la condición MT en la frecuencia 6.25 Hz se encontró mayor potencia en el grupo de bajo RA sobre regiones occipitales izquierdas. En la frecuencia 16.41 Hz se presentó menor potencia en el grupo de bajo RA sobre regiones frontales derechas, occipitales y temporales izquierdas. Se concluye que el grupo de bajo RA presenta mayor potencia en ondas delta y theta y que activa más estructuras cerebrales en la ejecución de la tarea que el grupo de alto RA. Lo que pudiera significar una ralentización de la actividad eléctrica cerebral en los alumnos de bajo RA.

**PALABRAS CLAVE.** Rendimiento académico, memoria de trabajo, electroencefalograma, paradigma Sternberg, función ejecutiva.

## **Dedicatoria**

A mi madre: Carmen Julia Higuera Mascareño, por ser mi fuente de motivación e inspiración. Porque gracias a usted pude concluir mis estudios académicos y estudiar mi licenciatura. Por ser mi compañera de vida, por su amor incondicional, apoyo físico, moral y emocional. Gracias por formarme como la persona que soy y por entregar su vida por su hija.

Porque esta investigación es suya, por y para usted.

## **Agradecimientos**

A mi tutora, Dra. María Luisa García, por ser mi guía a lo largo de mi carrera universitaria. Gracias por inspirarme e inducirme a las Neurociencias, por apoyarme y brindarme las bases y herramientas necesarias para comprender la neuropsicología. Gracias por su confianza para integrarme como ayudante de investigación, pero, sobre todo, muchas gracias por su comprensión y motivación para sacar adelante y poder concluir este trabajo.

A los miembros del comité sinodal:

Dr. Pedro Antonio Fernández Ruiz

Mtra. Rosalba Rosales Bonilla

Dr. Agustín Jaime Negrete Cortés

Por su apoyo, comentarios y sugerencias a lo largo de la elaboración de este proyecto, que sin duda fue el resultado de un gran trabajo en equipo.

A mis maestros de licenciatura, por brindarme las bases necesarias de las diferentes asignaturas y así poder aplicar mis conocimientos en este trabajo.

A la Universidad Autónoma de Baja California, Escuela de Ciencias de la Salud, por otorgarme la oportunidad de formarme como Licenciada en Psicología.

A mis compañeras de investigación, quienes contribuyeron a realizar registros de Electroencefalograma.

A los alumnos que participaron en la presente investigación, quienes fueron los que contribuyeron a poder realizar mi investigación y presentar mis resultados.

Gracias a Dios, por darme la vida, porque fue quien permitió que este proyecto pudiera llevarse a cabo.

## Índice general

Resumen.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Lista de abreviaturas .....	viii
Introducción.....	1
I. Antecedentes .....	3
1.1 Rendimiento académico .....	3
1.1.1. Factores asociados al rendimiento académico.....	4
1.1.2 Rendimiento académico en universitarios .....	7
1.1.3 Funciones ejecutivas y rendimiento académico .....	8
1.1.2 Memoria de trabajo y rendimiento académico .....	9
1.2 Memoria de trabajo.....	10
1.2.2 Modelo de la memoria de trabajo.....	11
1.2.3 Estructuras cerebrales involucradas en la memoria de trabajo.....	13
1.2.4 Tareas de memoria de trabajo.....	15
1.3 Electroencefalograma .....	17
1.3.2 Análisis cuantitativo del EEG o espectro de potencia. ....	20
1.4 Actividad eléctrica cerebral durante tareas de memoria de trabajo .....	22
1.5 Actividad eléctrica cerebral y rendimiento .....	25
1.6 Planteamiento del problema .....	28
1.7 Preguntas de investigación .....	29
1.8 Justificación.....	30
1.9 Hipótesis .....	32
1.10 Objetivos.....	33
1.11 Objetivo general.....	33
1.12 Objetivos específicos .....	33
2 Material y método.....	34
2.1 Participantes .....	34
2.2 Diseño del estudio.....	34
2.2.1 Materiales .....	36

2.3	Procedimiento.....	36
	Análisis estadístico .....	42
3	Resultados.....	43
3.1	Resultados conductuales.....	44
1.1	Resultados del análisis cuantitativo del EEG .....	45
1.1.2	Resultados del ANOVA Global. ....	45
1.1.3	Análisis post-hoc de las diferencias intergrupo (alto y bajo RA).....	48
1.1.4	Análisis post hoc de las diferencias intragrupo (entre estados).....	51
4	Discusión.....	52
4.1	Análisis conductual .....	52
4.2	Análisis del espectro de potencia del EEG .....	53
5	Conclusión .....	58
6	Recomendaciones .....	60
7	Referencias.....	61

## Índice de figuras

**Figura 1.** Modelo de la memoria de trabajo.

**Figura 1.3.** Espectro de potencia de los distintos componentes de frecuencia en un EEG típico de adulto

**Figura 2.** Diseño del estudio

**Figura. 2.2.** Tarea de MT del paradigma de Sternberg. Se presentan las fases de la tarea y su duración.

**Figura 3.** Resultados conductuales

**Figura 3.2.** Comparación de los espectros de potencia del EEG entre grupos. ANOVA global.

**Figura 3.3.** Análisis post hoc de las diferencias intergrupo en cada una de las condiciones: reposo, atención y memoria.

**Figura 3.4.** Análisis post hoc entre las condiciones de reposo y atención en ambos grupos

**Figura 3.5.** Análisis post hoc entre las condiciones atención y memoria en ambos grupos

## Índice de tablas

**Tabla 3.** Resultados sociodemográficos de la muestra final de los estudiantes universitarios.

**Tabla 3.1** ANOVA y T-Student de las condiciones

**Tabla 3.2** ANOVA y T-Student entre condiciones

## Lista de abreviaturas

COH	Coherencia
CPFDL	Corteza prefrontal dorsolateral
EEG	Electroencefalograma
FE	Función ejecutiva
FM	Frecuencia media
MT	Memoria de trabajo
PA	Potencia absoluta del EEG
PR	Potencia relativa del EEG
PRE	Potenciales relacionados a eventos
RA	Rendimiento académico
RP	Relación de potencias
TR	Tiempo de reacción

## Introducción

De acuerdo con el Programa de Educación de Baja California (2015-2019) en este Estado el 50% de los alumnos no se gradúa satisfactoriamente en el tiempo establecido y la tasa de deserción escolar supera el 25%, sobre todo, en los primeros años de ingreso en la licenciatura. Desde hace tiempo, el bajo rendimiento académico y la deserción escolar en la educación superior es un problema a resolver, a pesar de que en los últimos años se han diseñado diferentes planes de mejoramiento en la calidad educativa (Vergara, 2011). También, ha crecido el interés por estudiar los determinantes del rendimiento académico (RA) y encontrar los factores que expliquen el frecuente fracaso de los alumnos (Lopez, 2013). Así mismo, se ha determinado que el RA de los estudiantes universitarios constituye un factor fundamental e imprescindible para la valoración de la calidad educativa en la enseñanza superior debido a que funciona como un indicador de eficacia y calidad educativa (Garbanzo, 2007; Duggal y Mehta, 2015).

A lo largo del tiempo, se han realizado diversos estudios en los que se intenta determinar cuáles son las variables asociadas y predictoras del RA, entre ellas se encuentran las funciones cognitivas (Cortés y Palomar, 2007). Siguiendo esta línea, la memoria de trabajo (MT) es un proceso cognitivo que juega un papel importante en la toma de decisiones y la resolución de problemas, lo que la convierte en un proceso fundamental en la vida cotidiana de los adultos (Nissim, O' Shea, Bryant, Porges, Cohen y Woods, 2017). Para comprender los mecanismos neuronales del mantenimiento de la MT se utilizan paradigmas experimentales. Uno de los paradigmas clásicos para evaluar la MT es la tarea de Sternberg (1966), la cual es ampliamente utilizada en la investigación de la neurociencia. Existen investigaciones en donde se analizan los resultados del EEG con relación a la inteligencia y a la memoria de trabajo (Jun-Su, Ojha, Lee y Lee, 2017, Zhong-Xu, Glizer, Tannock y Woltering, 2016, Kavcic, Zalar y Giordani, 2016). Incluso se ha demostrado que la presencia de cierto tipo de actividad eléctrica cerebral, en particular el incremento de potencia en las bandas beta y gamma sobre regiones temporoparietales predice una rápida adquisición de una segunda lengua (Prat, Yamasaki, Kluender y Stocco, 2016).

Por su parte, se han realizado esfuerzos para ampliar la matrícula de estudiantes universitarios y mejorar la calidad de educación superior, sin embargo, no se han obtenido resultados satisfactorios. Una propuesta desde las neurociencias es estudiar la relación entre la actividad eléctrica cerebral y las funciones cognitivas con el rendimiento académico de esta población. Por lo tanto, el interés de la presente investigación radica en encontrar diferencias conductuales y de la actividad eléctrica cerebral asociada a una tarea de memoria de trabajo entre estudiantes de Ciencias de la Salud de bajo y alto rendimiento académico (RA).

# I. Antecedentes

## 1.1 Rendimiento académico

El origen etimológico de la palabra rendimiento se deriva del latín *rendere* que significa vencer sujetos, imponer una cosa al dominio de alguien o dar frutos o utilidad a algo, por lo tanto, rendimiento se refiere a la productividad que algo proporciona, es la relación de la utilidad de algo con el esfuerzo realizado (Repetto, 1984). De acuerdo al Diccionario de la Real Academia Española el rendimiento es definido como “la proporción entre el producto o el resultado obtenido y los medios utilizados” (RAE, 2016). Por lo tanto, el rendimiento académico es el “producto que rinde o da el alumnado en el ámbito de los centros oficiales de enseñanza” (Martínez, 1997). El rendimiento académico (RA) implica la suma de múltiples factores que actúan para que un individuo logre aprender (Garbanzo, 2007), por tanto, es un término difícil de conceptualizar. De acuerdo a la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES, 2007) el RA se define como el grado de conocimiento que posee un individuo. En términos operacionales se refiere a la calificación obtenida por el alumno (Porapat, 2009; Garbanzo, 2007) y por lo general, se expresa en términos de promedio de calificaciones de los cursos ponderados previamente (GPA, por sus siglas en inglés para *Grade Point Average*) (Richardson, Charles y Rod, 2012). Es decir, el RA se puede medir a través de los resultados interpretados en calificaciones que se obtienen de exámenes a lo largo del tiempo en los ciclos escolares. Estas calificaciones se definen de acuerdo a una escala numérica (Hernández, 2016), que varía de acuerdo a cada institución. Por consiguiente, se dice que representa el aprendizaje adquirido o bien el logro de los objetivos preestablecidos del estudiante (Tournon, 1984).

Dentro del proceso educativo, los docentes e investigadores utilizan frecuentemente las calificaciones escolares como aproximación al RA (Navarro, 2003). Sin embargo suele emplearse con cautela debido a las formas diferenciadas de obtenerlo entre las diferentes instituciones (Richardson et al., 2012). De igual manera, el promedio de calificaciones es cuestionado debido a que en las diferentes instituciones se suelen otorgar grados más altos de rendimiento en los distintos niveles educativos, lo que se conoce como inflación de

grado (Porapat, 2009), sin embargo, cuando se utiliza una escala de calificaciones para determinarlo, el promedio global de calificaciones es considerado como una medida objetiva con buena confiabilidad interna y estabilidad temporal para determinar el RA (Bacon y Bean, 2006).

### **1.1.1. Factores asociados al rendimiento académico**

Existen múltiples estudios e investigaciones en donde se pretende discernir cuáles son los componentes asociados al RA. Se ha encontrado que el RA se ve afectado por múltiples factores (Duggal y Mehta 2015), y que estos son de dos tipos. Los primeros son aquellos que se encuentran en el mismo estudiante, endógenos y en segundo lugar se encuentran aquellos que se observan en el mundo circundante, exógenos. Estos factores interactúan de manera recíproca dando como resultado el RA (Porcel, Dapozo y López, 2010). Otros autores proponen que algunos de los factores que se relacionan con el RA corresponden específicamente a los rasgos de personalidad, factores de motivación, estrategias de aprendizaje autorregulado, aproximación del estudiante al estudio e influencias contextuales psicosociales (Richardson et al., 2012).

La personalidad está indiscutiblemente relacionada con el RA (Porapat, 2009). El modelo que mejor explica los rasgos de personalidad, es el de los cinco factores de personalidad, por ser el enfoque más investigado, complejo y amplio en cuanto a la conceptualización y evaluación de la personalidad. Estos factores son la consciencia, la extraversión, el neuroticismo, la apertura y la conveniencia (McCrae y Costa, 2008). De estos cinco factores la consciencia se ha asociado con mayor fuerza con el RA. Las medidas de consciencia determinan las diferencias individuales en el grado en el que los individuos son seguros, organizados y orientados a la motivación del logro (Richardson et al., 2012), el deber y la responsabilidad (Chamorro, 2006). Las principales características de la consciencia hacen referencia a las habilidades de liderazgo, planes a largo plazo, la red de apoyo organizado y los conocimientos técnicos obtenidos (McCrae y Costa, 2008). Es de esperarse que las personas más conscientes cuenten con mayor motivación para desempeñarse bien, y por tanto sean más persistentes cuando se enfrenten a cursos difíciles. Así, los que tienen escasa consciencia tienen menos probabilidad de persistir frente a un trabajo desafiante (Richardson et al., 2012). Así mismo, en investigaciones previas

realizadas en estudiantes de bachillerato y universidad se ha estudiado la relación entre la conciencia y el rendimiento académico. Se ha encontrado que la conciencia es capaz de predecir aspectos importantes del rendimiento académico, como lo son las calificaciones de los alumnos en los exámenes, la asistencia al aula de clases y el esfuerzo o dedicación hacia sus estudios. Concluyendo que, la conciencia predice la capacidad de los estudiantes para rendir adecuadamente en el ámbito académico (Dezcallar, Clariana, Badia, Gotzens y Cladella, 2013).

Como se mencionó anteriormente, otros de los factores estudiados y relacionados con el RA son los factores de motivación, los cuales se clasifican en los constructos de a) atribuciones, optimismo, pesimismo, expectativas y control percibido, b) fuentes de motivación y c) tipos de objetivos. Dentro de estos factores motivacionales, se ha encontrado que la autoeficacia de rendimiento y los objetivos de grado son los que se relacionan mayormente con el RA. La autoeficacia de rendimiento hace referencia a la capacidad con la que cuentan los estudiantes de recurrir a experiencias pasadas cuando los desafíos escolares son familiares, para poder formular expectativas sobre dichas situaciones específicas. De este mismo modo, los estudiantes pueden afectar su fuente y grado de motivación e incluso su desempeño según el tipo de meta que persiguen durante el estudio académico. Un objetivo de grado es un objetivo de rendimiento específico basado en retroalimentación previa (Richardson et al., 2012).

En esta línea, los componentes de las estrategias del aprendizaje autorregulado (metacogniciones, motivaciones y comportamientos) son determinantes importantes del aprendizaje y por consiguiente del RA (Credé y Phillips, 2011), ya que, se considera que una de las principales causas del fracaso académico se debe a la dificultad de los estudiantes para autorregular su aprendizaje (Zimmerman, 1994). Los estudiantes regulan sus cogniciones, emociones, conductas de motivación y medio ambiente (Boekaerts y Corno, 2005). En la medida en que los estudiantes utilizan las estrategias de aprendizaje autorregulado pueden mediar los efectos de sus capacidades intelectuales y de personalidad, así como las influencias contextuales y psicosociales que influyen en el RA (Richardson et al., 2012). Así, los intentos por controlar, regular y cambiar la cognición deben relacionarse con las actividades de monitoreo cognitivo que brindan información sobre diferencias entre

una meta y el progreso actual hacia determinada meta en el ámbito académico (Pintrich, 2004).

Continuando con otro de los factores asociados al RA, se encuentran las aproximaciones del estudiante al estudio. Es conocido que la manera en la que el estudiante percibe su medio ambiente de aprendizaje influye en como aprende. (Struyven, Dochy y Janssens, 2002). Estas aproximaciones se basan en como el estudiante percibe las diferentes tareas a realizar, los motivos para realizarla y cómo influye el contexto inmediato para llevar a cabo las actividades escolares (Biggs, 1988). En este supuesto se plantean tres tipos de aproximaciones del estudiante al estudio: 1) aproximación superficial: la cual implica estrategias cognitivas poco profundas, como lo son el solo memorizar y ensayar, además de estar relacionada con una motivación extrínseca para aprender (Richardson et al., 2012), 2) aproximación profunda: los estudiantes utilizan métodos de aprendizaje como la evaluación, crítica y síntesis de información. Está basada bajo una motivación intrínseca permite que el estudiante sea capaz de entender y generar conocimiento (Richardson et al., 2012). El proceso cognitivo que utiliza esta aproximación es la metacognición en aspectos de contenido de la información y habilidades analíticas (Heinström, 2002), 3) aproximación de logro: se basa en la competencia y en la automejora de los estudiantes para obtener calificaciones altas (Biggs, 1988). Utilizan métodos de estudio organizados y un efectivo manejo del tiempo. Los estudiantes que utilizan este tipo de aproximación, combinan estrategias profundas y superficiales, dependiendo la importancia y las características de la tarea (Richardson et al., 2012).

El último de los factores relacionados con el RA corresponde a las influencias contextuales psicosociales. De acuerdo con el meta análisis de Richardson et al., (2012), los sistemas educativos universitarios están en constante interacción con las características de los estudiantes (sexo, edad, etnia, valores) y sus experiencias (logros académicos pasados), lo que determina el grado de relación de los estudiantes con los sistemas sociales y académicos. Cuando los estudiantes se ajustan a este tipo de dinámica es capaz de integrarse social, académica e institucionalmente. De la misma manera, este ajuste da paso a un mayor compromiso con los objetivos académicos. Las influencias externas que impactan mayormente a los estudiantes son el apoyo familiar y las finanzas, pues, estos

factores contextuales moldean las respuestas de los estudiantes a la vida universitaria. Se han identificado ocho influencias contextuales psicosociales. Estas incluyen tres aspectos de la integración organizacional: integración social, académica e institucional más otros cinco factores: compromiso con los objetivos, apoyo social, estrés general, estrés académico y depresión.

### **1.1.2 Rendimiento académico en universitarios**

El RA de los estudiantes universitarios constituye un factor fundamental e imprescindible para la valoración de la calidad educativa en la enseñanza superior puesto que, es un indicador de eficacia y calidad educativa (Garbanzo, 2007; Duggal y Mehta, 2015).

Una de las medidas más aceptada y utilizada para operacionalizar el RA es el promedio global de calificaciones (GPA, por sus siglas en inglés para *Grade Point Average*) (Richardson et al., 2012).

En México en el 2013, la matrícula de estudiantes de educación superior en la modalidad escolarizada era de 3.3 millones de alumnos, lo que representó el 29.2 % de jóvenes inscritos en este nivel. Así mismo, el índice de eficiencia terminal superior fue de 71.1 % (Plan Nacional de Desarrollo 2013- 2018). Actualmente, de acuerdo al cuarto informe de labores de la Secretaría de Educación Pública (2015-2016), se brindó atención en educación superior a poco más de 3.6 millones de jóvenes en la modalidad escolarizada, alcanzando una cobertura total de 31.2% para alumnos de este mismo grupo de edad. En esta línea, la Universidad Autónoma de Baja California atiende a un total de 63 mil, 377 alumnos, de los cuales 2 mil 793 son estudiantes de la Escuela de Ciencias de la Salud (ECISALUD) Valle de las Palmas. En Baja California el 50% de los alumnos no se gradúa satisfactoriamente en el tiempo establecido y la tasa de deserción escolar supera el 25%, sobre todo en los primeros años de la licenciatura. Aunado a esto de acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (2015), los adultos con niveles educativos más altos tienen mayor probabilidad de ser empleados que los adultos con un nivel de educación inferior. A pesar de los esfuerzos que se realizan para ampliar la matrícula y mejorar la calidad de educación superior no se han obtenido resultados

satisfactorios. Pues, de cada 100 jóvenes que cuentan con la edad para inscribirse en este nivel sólo 29 se encuentran inscritos (Programa de Educación de Baja California, 2015-2019).

### **1.1.3 Funciones ejecutivas y rendimiento académico**

Se considera que el RA es resultado en gran parte de las tácticas cognitivas y afectivas que el estudiante utiliza para procesar, elaborar e integrar la información (Celorrio, 1999). Así mismo, se ha encontrado que el resultado de la dinámica educativa puede estar influenciado considerablemente por las diferencias individuales en el desarrollo de los procesos neuropsicológicos de los estudiantes (Baars, Nije, Tonnaer, y Jolles, 2015; Richardson, Charles y Rod, 2012). Las funciones ejecutivas (FE) son un conjunto de procesos neuropsicológicos que resultan ser complejas tanto en su definición (Miyake et al., 2000), como en su medición (Miyake y Friedman, 2012). Las FE engloban los niveles más altos del funcionamiento humano como el intelectual, el pensamiento, el autocontrol y la interacción social (Anderson, Jacobs y Anderson, 2010).

De acuerdo con Shallice (1988) las FE son los procesos que asocian ideas, movimientos y acciones simples que se orientan hacia la resolución de situaciones complejas. Stuss y Benson (1986) señalan que las FE incluyen aspectos relacionados con proceso cognitivos como la memoria de trabajo y emotivos como la capacidad para seleccionar, planificar, anticipar, modular o inhibir la actividad mental y atención, formular conceptos abstractos y el pensamiento conceptual, así como seleccionar, prever y anticipar objetivos. Otros autores postulan que los elementos clave de la FE son: la anticipación y el despliegue de la atención, el control de los impulsos y la autorregulación, la iniciación de la actividad, la memoria de trabajo, la flexibilidad mental y la utilización de la retroalimentación, la capacidad y organización de la planificación y la selección de estrategias eficientes de resolución de problemas (Anderson et. al., 2010)

En una investigación realizada a estudiantes de 11 a 16 años de edad, en los cuales se examinaron las relaciones entre las dimensiones de flexibilidad conceptual, el seguimiento y la inhibición, se encontró que las FE contribuyeron a la predicción de todos los ámbitos

académicos más allá del funcionamiento intelectual general, puesto que, la flexibilidad conceptual predijo las materias de lectura y ciencias, el seguimiento la lectura y ciencias sociales y la inhibición un mejor rendimiento en matemáticas y ciencias. Por lo tanto, existe relación entre las funciones ejecutivas y habilidades académicas específicas (Latzman, Elkovitch, Young, Clark, 2010). De igual manera, la memoria de trabajo (MT) desempeña un papel importante en actividades complejas (Baddeley, 1996) y se considera un componente integral del funcionamiento ejecutivo (Anderson et. al., 2010).

### **1.1.2 Memoria de trabajo y rendimiento académico**

Desde una perspectiva neuropsicológica basada en un análisis detallado de los procesos cognitivos y su relación con la organización y funcionamiento cerebral se ha planteado que no se trata de analizar la memoria de manera general, sino que es preferible realizar estudios enfocados en un solo tipo de memoria en un momento específico del proceso de aprendizaje (Zapata, Reyes De los, Lewis y Barceló, 2009). Se ha encontrado que las diferencias individuales en la capacidad de MT pueden ser un predictor de las diferencias en el rendimiento de las tareas de procesamiento de la información, como leer y tomar notas académicas. Estudios realizados en niños han demostrado que aquellos que presentan dificultades con la MT no logran progresar normalmente en tareas relacionadas con la alfabetización (Tariq y Noor, 2012).

En una investigación de tipo no experimental, exploratoria y correlacional realizada con una muestra final de 95 estudiantes universitarios de entre 18 y 32 años de edad, cuyo objetivo fue examinar las relaciones entre la autoeficacia académica, la conciencia metacognitiva, la MT y el RA en general. Se aplicaron diferentes cuestionarios con escalas tipo Likert y pruebas para evaluar la MT. Se encontró que la MT se correlacionó de manera positiva y significativa ( $r = 0.849$ ;  $p = <0.0001$ ) con todos los componentes de RA, específicamente con la calificación obtenida en un curso de metodología de la investigación (Da Costa, 2013).

En una investigación realizada en estudiantes universitarios de la carrera de psicología se llevó a cabo un estudio longitudinal sobre los factores individuales y situacionales de la

alfabetización informacional. Como factores individuales se analizó la capacidad de MT sobre la teoría de carga cognitiva. Los resultados de esta investigación arrojaron que los estudiantes de psicología con más alta capacidad de MT tuvieron un incremento más pronunciado en su alfabetización informacional que los estudiantes con menor capacidad de MT. Dicho de otra manera, se demostró que la capacidad de la MT modera el desarrollo de la búsqueda de información (Rosman, Mayer y Krampen, 2016).

En otra investigación reciente cuyo objetivo fue explorar el poder predictivo de las variables coeficiente de intelectual (CI) y MT en relación con el rendimiento académico en diferentes grados académicos. Se realizó un estudio longitudinal y se realizaron mediciones de CI y MT en los participantes a los 6, 8, 10, 18 y 23 años de edad, así como medidas de lectura, matemáticas y deletreo. Los resultados de esta investigación arrojaron que tanto la MT como la inteligencia explicaron una cantidad significativa de la varianza adicional del en etapas tempranas del desarrollo. En etapas más tardías del desarrollo la variable más importante es el conocimiento previo en habilidades como lectura y matemáticas. (Schneider y Niklas, 2017).

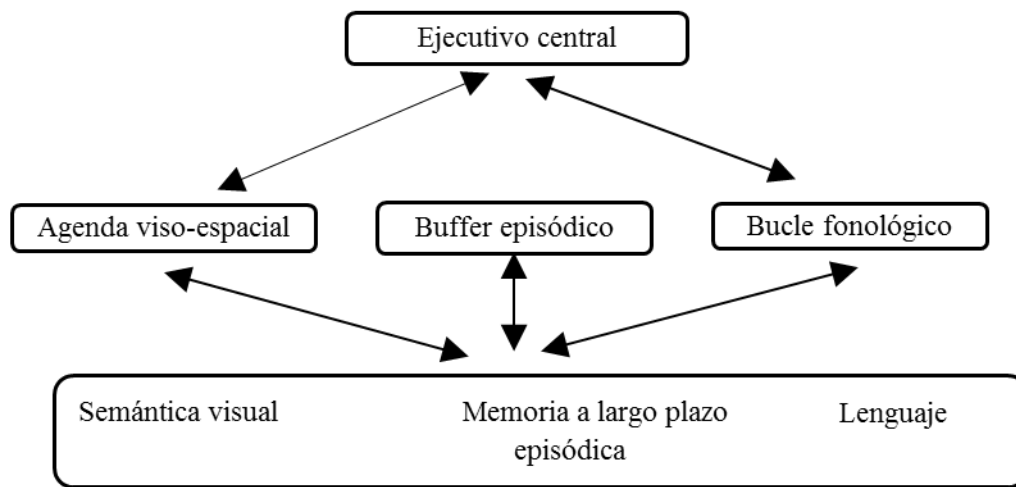
## **1.2 Memoria de trabajo**

La memoria de trabajo (MT) juega un papel significativo en las actividades complejas del ser humano (Baddeley, 1996) pues, regula y guía las conductas, así como los procesos mentales. El contenido de la memoria de trabajo es temporal y cambia constantemente (Rains, 2002), permitiendo el aprendizaje y razonamiento de nuevas tareas (Portellano, 2005). El término MT fue utilizado por primera vez en 1960 por Miller, Galanter y Pribram para referirse al mecanismo neural que permitía al cerebro crear, modificar y ejecutar planes. Otros autores (Miyake y Shah, 1999) la describieron como un mecanismo o proceso que está relacionado con el control, la regulación y el mantenimiento activo de la información relevante para determinada tarea. La MT según el modelo de Baddeley (2010) es definida como “un sistema de capacidad limitada que permite el almacenamiento y la manipulación de información necesaria para tareas complejas como la comprensión,

aprendizaje y razonamiento temporal. En estudios recientes se ha encontrado que la capacidad de MT desciende en relación a la edad, lo que se debe a una ralentización generalizada de la velocidad de procesamiento y a una disponibilidad reducida de recursos de procesamiento (Pinal, Zurrón y Díaz, 2015).

### 1.2.2 Modelo de la memoria de trabajo

El modelo de memoria de trabajo (MT) de Baddeley originalmente fue diseñado para sustituir el concepto de memoria a corto plazo. El modelo inicial presentado por Baddeley y Hitch (1974) comprendía tres componentes funcionales de la MT: el bucle fonológico, la agenda viso-espacial y el ejecutivo central. (Baddeley y Hitch, 1974). Posteriormente con base a nuevos hallazgos empíricos y para contemplar algunas deficiencias del modelo, se añadió un cuarto componente, el buffer episódico (Baddeley, 2000; Figura 1).



**Figura 1.** Modelo de la memoria de trabajo. Modificado de Baddeley (2000).

El ejecutivo central es el principal componente ya que, es el responsable de controlar y gestionar el sistema. Cuenta con cuatro funciones principales. La primera de ellas es dirigir la atención hacia la realización de la tarea en curso y facilita o inhibe el procesamiento de la información en función de la relevancia para la tarea. Una segunda función es que permite realizar múltiples tareas de manera simultánea mediante la coordinación de los recursos de memoria de trabajo que se adecuan a través de las diversas tareas. Su tercera función es la

capacidad para cambiar de manera flexible el foco atencional entre una tarea y otra. Por último, la cuarta función del ejecutivo central es la activar selectiva y temporalmente las representaciones de la memoria a largo plazo, las cuales permiten responder a las exigencias del medio ambiente (Baddeley, 1996, 2002).

El bucle fonológico es el subsistema que se encarga del constante repaso de la información verbal para permitir que se mantenga temporalmente durante la realización del trabajo cognitivo. Comprende dos componentes, un almacén fonológico que contiene rastros de memoria en forma acústica o fonológica que desaparecen en pocos segundos, y un proceso de ensayo articulatorio análogo al discurso subvocal (Baddeley, 1983). La función principal del proceso de ensayo articulatorio consiste en recuperar y volver a articular los contenidos en el almacén fonológico para poder actualizar el rastro de memoria. La articulación se realiza en tiempo real, por lo tanto, la capacidad del almacén fonológico está limitada por el número de elementos que pueden articularse en el tiempo disponible antes de que su rastro de memoria desaparezca. Existen evidencias que demuestran que la información que mantiene el bucle fonológico es de tipo verbal, una de ellas deriva del efecto de interferencia por similitud fonológica. Cuando se realizan tareas de recuerdo inmediato se presentan un mayor número de errores en el recuerdo de listas de palabras a medida que las palabras son similares fonológicamente. Otra es el efecto de longitud de la palabra, en las tareas que requieren de un recuerdo inmediato, las palabras menor recordadas son aquellas en las que su pronunciación dura más tiempo a diferencia de las que se pronuncian más rápidamente. Esto demuestra que el bucle fonológico utiliza el sistema de articulación vocal y que su capacidad de mantener la información es definida en términos de duración del contenido. Otra de las evidencias es el efecto de la supresión articulatoria. Esta consiste en pronunciar un contenido irrelevante mientras se presenta y recuerda una lista de palabras. Además de disminuirse el recuerdo, también se elimina el efecto de la longitud de la palabra, lo que hace que el recuerdo de listas de palabras de diferente longitud sea igual de bajo, aunque no se elimina completamente la capacidad de mantener activa la información verbal (Baddeley, 2000). El hallazgo más sencillo que se relaciona con el almacén verbal a corto plazo es la cantidad limitada de información que puede contener, esto es medido con una tarea simple de recuperación inmediata de una serie que contiene de

cinco a ocho ítems (Brener, 1940).

La agenda viso-espacial es el subsistema utilizado para mantener y manipular la información de tipo visual o espacial, el cual es un proceso esencial en la realización de tareas cognitivas (Repovs y Baddeley, 2006). Es posible diferenciar entre aspectos visuales del sistema, relacionados con formas y objetos y aspectos espaciales, aquellos que se relacionan con la localización. Respecto al recuerdo de los objetos, no es necesario un repaso ordenado de las imágenes para su mantenimiento, puesto que estas pueden combinarse y recordarse como un todo. La agenda viso-espacial está limitada en la cantidad total de imágenes independientes que se puede manipular de forma simultánea. También, existe poco olvido en el recuerdo inmediato de localización después de breves períodos de tiempo (Baddeley, 2000).

El buffer episódico es el último componente que se añade al modelo de memoria de trabajo. Surge para explicar la relación entre la memoria de trabajo y la memoria a largo plazo. Este es un sistema que actúa como enlace entre los distintos subsistemas con la memoria a largo plazo. Representa un sistema de almacenamiento separado de la capacidad limitada por medio de la utilización de un código multimodal. La integración y el mantenimiento de la información dentro del buffer episódico dependen del ejecutivo central, y crea un espacio de modelación mental que permite planificar la acción futura (Baddeley, 2000).

### **1.2.3 Estructuras cerebrales involucradas en la memoria de trabajo**

Las regiones involucradas en la MT se han descrito como elementos de una red neuronal, en lugar de determinar un único papel a diferentes regiones cerebrales. En experimentos neurofisiológicos realizados con monos se ha encontrado que la MT está relacionada con la actividad neuronal de múltiples regiones cerebrales como la corteza prefrontal, la corteza parietal y áreas de asociación unimodal posterior (Gazzaley, Rissman y D'Esposito, 2004).

De la misma manera, se ha demostrado que la corteza prefrontal dorsolateral (CPF DL) desempeña papeles importantes en la MT (Fuster, 2008). En 1973, Fuster realizó una exploración en primates no humanos colocando microelectrodos en la corteza prefrontal

mientras realizaban una tarea de respuesta demorada. Esta tarea consistía en asociar una respuesta motora a un estímulo visual determinado dentro del rango visual de los primates, posteriormente se otorgaba un período de demora en el cual los monos debían mantener en su memoria activa la respuesta motora asociada al estímulo visual presentado. Los resultados arrojaron que las neuronas de la CPFDL eran esenciales para las pruebas de respuesta demorada. Así mismo, estudios neuropsicológicos han demostrado que daños en la CPFDL afectan el desempeño en tareas de MT (Stuss, Floden, Binns, Levine, McIntosh, Rajah y Hevenor, 2002). No obstante, en investigaciones anteriores se ha encontrado que la CPFDL no es la única asociada a los procesos de MT. Los hallazgos de otros estudios demuestran también la participación del núcleo dorsomedial (NMD) del tálamo (Watanabe y Funahashi, 2012).

En un estudio realizado con resonancia magnética funcional (IRMf) cuyo objetivo fue explorar la conectividad funcional entre las regiones cerebrales durante distintas etapas de una tarea de demora de MT de reconocimiento facial, se encontró que la red neuronal incluyó la CPFDL y ventrolateral, la corteza premotora, el surco intraparietal, el núcleo caudado, el tálamo, el hipocampo y las regiones occitotemporales. (Gazzaley et al., 2004). En otras investigaciones en donde también se ha utilizado IRMf se ha observado activación de las porciones ventrales y frontales de la corteza prefrontal lateral. Al igual, se han activado áreas adicionales en la MT, como lo son la corteza premotora, porción superior del lóbulo parietal y el tálamo (Chapi, 2016). 2016).

En estudios neuropsicológicos en los cuales se han utilizado técnicas de neuroimagen se ha encontrado que el almacén fonológico está relacionado con las áreas parietotemporales del hemisferio izquierdo (área 40 de Broadman) y que el área encargada del repaso articulatorio es el área de Broca (Baddeley, 2003). Apoyando estos correlatos, en otra investigación en la que también se apoyaron de técnicas de neuroimagen funcional se encontró que el bucle fonológico está relacionado con la activación del circuito neuronal del hemisferio izquierdo, que las áreas del lóbulo parietal inferior izquierdo se relacionan con las representaciones fonológicas y que las áreas más anteriores del lóbulo temporal y frontal izquierdas se asocian con los procesos articulatorios, en los cuales se incluyen la área de Broca, la corteza premotora y la corteza de asociación sensoriomotora (Henson,

Burgess y Frith, 2000).

### **1.2.4 Tareas de memoria de trabajo**

Para comprender los mecanismos neuronales del mantenimiento de la MT se utilizan paradigmas experimentales, de entre los cuales son frecuentes las tareas de demora (por ejemplo, tarea de respuesta demorada). Otra de las tareas usadas ampliamente es la tarea de reconocimiento tardío típico. Ésta tarea consiste en recordar un estímulo presentado durante un periodo de referencia y luego mantener esa información durante un breve intervalo de demora cuando el estímulo está ausente. Posteriormente el sujeto otorga una respuesta a un estímulo para determinar si la información fue retenida con éxito (Gazzaley et al., 2004).

Otra tarea para medir la MT visual a corto plazo es el *one-shot* la cual es una versión de la tarea de detección de cambio. En esta tarea los participantes observan una breve matriz de muestras que contienen de uno o más objetos que deben recordar. Después de un breve intervalo de retención se les presenta una serie de pruebas, por tanto, los sujetos deben comparar la matriz de prueba con la matriz de muestra para determinar si existen diferencias entre ambas (Phillips, 1974).

En 1980, Daneman y Carpenter diseñaron la tarea de amplitud lectora (*Reading Span Task*) en la cual los participantes tienen que leer en voz alta una serie de frases no relacionadas y recordar la última palabra de cada una de las frases de la serie siguiendo el orden de presentación. Debido a que en esta tarea se distribuyen los recursos simultáneamente para el procesamiento (lectura de las frases) y el almacenamiento (recuerdo de las palabras), el número máximo de palabras correctamente recordadas puede ser considerado como el promedio de la capacidad de memoria de trabajo. Existe otro paradigma de la memoria para el habla ignorada (*Memory for Ignored Speech Task*), en el cual los participantes se involucran en una tarea cognitiva específica en la que escuchan y al mismo tiempo ignoran una lista de dígitos. Los participantes responden de manera ocasional pruebas que evalúan la memoria de los últimos dígitos presentados (Cowan, Saults, Nugent y Elliot, 1999).

En los últimos años se han empleado otras tareas para investigar la base neuronal de los

procesos de MT. La tarea n-back, (Gevins y Cutillo, 1993), consiste en pedir a los sujetos que monitoreen una serie de estímulos verbales o no verbales y respondan cuando se presente un estímulo que sea el mismo que el que se había presentado previamente. En estas tareas la letra n es un número especificado previamente, usualmente se utilizan 1, 2 o 3 (Owen, McMillan, Laird y Bullmore, 2015).

Una de las tareas clásicas y ampliamente utilizadas en la investigación de la neurociencia para evaluar la MT es la de Sternberg (1966). Esta tarea consiste en solicitar a los participantes memorizar una serie de símbolos. Se presenta un estímulo de prueba y posteriormente el participante decide si el nuevo estímulo se ha presentado previamente. Si el estímulo se encuentra se presiona una palanca, brindando una respuesta positiva, si el estímulo no se encuentra se presiona otra palanca y se genera una respuesta negativa. En este paradigma lo relevante era el reconocimiento de los estímulos solamente y no su orden. Se presentaban 144 ensayos y se mostraban seis dígitos diferentes durante 1.2 segundos cada uno. Para esta tarea se utilizaron los parámetros del tiempo de reacción (el tiempo desde el inicio de la presentación del estímulo hasta la aparición de la respuesta), el número de respuestas correctas e incorrectas y el número de respuestas omitidas (cuando el participante no respondió dentro del tiempo establecido). La latencia de respuesta o tiempo de reacción (TR) se define como el tiempo que transcurre desde la presentación del estímulo de prueba hasta la aparición de la respuesta. Cuando el participante juzga si un símbolo de prueba está contenido en una secuencia corta de símbolos memorizada, su TR aumenta linealmente con la longitud de la secuencia (Sternberg, 1966). Después de que el paradigma Sternberg fue diseñado, surgió un interés considerable en él y se realizaron numerosos estudios utilizando la tarea de Sternberg, por tanto, se pudieron distinguir al menos tres líneas de investigación respecto a la tarea, la primera fue para verificar la replicabilidad de los resultados de Sternberg, la segunda línea de investigación fue para generalizar estímulos diferentes como letras, números, imágenes o incluso caras, y la tercera para poder generalizar los resultados en diferentes poblaciones (Corbin y Marquer, 2013). Uno de los principales mecanismos utilizados para mantener la información en tareas de MT verbal es el ensayo subvocal y se incluye en el bucle fonológico (Baddeley, 1990).

Con respecto a la actividad eléctrica cerebral, se ha encontrado que la tarea de Sternberg es conveniente para examinar las propiedades temporales de la banda theta, debido a que cada ensayo tiene un periodo definido sobre el cual se debe mantener la MT. En un análisis de la actividad eléctrica cerebral se encontró que en los sujetos las oscilaciones theta aumentaban al inicio de cada ensayo y que volvían a la línea base cuando el sujeto debía ejecutar la respuesta (Raghavachari, Kahana, Rizzuto, Caplan, Kirschen, Bourgeois, Madsen y Lisaman, 2001).

### **1.3 Electroencefalograma**

El electroencefalograma es el único instrumento que permite realizar una aproximación del funcionamiento cerebral en tiempo real, es decir, a escala del milisegundo. El término electroencefalograma (EEG) fue definido por Hans Berger en 1929 después de publicar sus primeros resultados de las mediciones que realizaba en seres humanos de su actividad eléctrica cerebral, mediante la colocación de electrodos en diferentes lugares del cuero cabelludo (Parra y Lopes, 2002). Las zonas en las que se divide el cuero cabelludo son la fronto-polar (Fp), frontal (F), central (C), parietal (P), temporal (T) y occipital (O; Arriola, 2016). El EEG registra la actividad eléctrica cerebral desde la superficie craneana de acuerdo a un sistema estandarizado denominado Sistema Internacional 10-20. En éste sistema de colocación de electrodos, los pares de electrodos se ubican a 10 o 20% de la distancia total de medida sobre el cráneo. Los electrodos son colocados con base a cuatro puntos de referencia en el cráneo: nasión, inión y los puntos pre auricular izquierdo y derecho (Fernández, 2002).

Los electrodos registran diferencias de los potenciales eléctricos que son causados por potenciales postsinápticos en la membrana celular de las neuronas corticales (Olejniczak 2006). Los potenciales postsinápticos cerebrales pertenecen a la millonésima parte de un voltio ( $\mu\text{V}$ ) y la amplitud generada es un índice de voltaje que oscila entre 10 a 100  $\mu\text{V}$ , por lo que deben pasar por una serie de amplificadores a fin de poder observarlos (Silva, 2011). De forma que, una vez que son colocados los electrodos se procede a amplificar y filtrar la señal (Aminoff, 1992).

La señal del EEG se produce a partir de la actividad eléctrica de distintas poblaciones neuronales, dando como resultado a una estimación del comportamiento colectivo de diversos grupos neuronales. Como se mencionó anteriormente, los potenciales postsinápticos son los principales responsables de las ondas que se registran en el EEG (Parra y Lopes, 2002). El potencial de acción en el cerebro normal transcurre desde el axón hasta la terminación nerviosa, el neurotransmisor provoca una modificación en la conductancia de la membrana y en el potencial transmembrana. Si esta modificación o señal enviada genera un efecto excitador sobre la neurona se produce una reducción local del potencial transmembrana (despolarización) lo que se denomina potencial postsináptico excitatorio. Por otra parte, un potencial postsináptico inhibitorio, da lugar a una hiperpolarización local y se ubica en el cuerpo neuronal. La combinación de estos dos potenciales incita que las corrientes fluyan hacia el interior y alrededor de la neurona con un potencial de campo para ser registrado en el cuero cabelludo, ya que, para que los potenciales cerebrales puedan ser registrados en el cuero cabelludo, es necesario que la actividad eléctrica cerebral involucre de forma simultánea una zona de corteza de aproximadamente  $6 \text{ cm}^2$  (Cooper, Winter, Crow y Grey, 1965). Por tanto, el EEG permite medir la suma total de potenciales postsinapticos excitatorios e inhbitorios neuronales, que son propagados desde la corteza cerebral hasta el cráneo (Olejniczak, 2006).

El proceso de registro de un par de electrodos conectados a un canal del electroencefalógrafo y el propio registro del proceso constituye una derivación. Existen cuatro tipos de derivaciones: a) derivación de referencia común, la cual representa la diferencia del potencial eléctrico entre cada uno de los electrodos de registro y un electrodo de referencia común; b) derivación de referencia común al promedio de los electrodos, que utiliza una referencia artificial que representa el promedio de la actividad de todos los electrodos del registro; c) derivación polar, en este sistema se conectan pares de electrodos, de forma que representa la diferencia de potencial eléctrico entre cada electrodo y los electrodos circundantes o cercanos al mismo y por último, se encuentra la e) derivación de referencia de origen, en la cual, la actividad registrada de cada electrodo procede de una fuente eléctrica local subyacente al electrodo y de la propagación desde otras fuentes próximas (Fernández, 2002).

Así mismo, un montaje consiste en un conjunto de derivaciones que se registran de manera

simultánea en un EEG. Los montajes pueden ser de dos tipos: monopolares o de referencia y bipolares. Un montaje monopolar se lleva a cabo cuando un electrodo registra la actividad eléctrica en alguna parte del cerebro, lo que se denomina electrodo activo y dicha actividad se compara con la de un sitio inactivo y distante de actividad eléctrica cerebral, al que se le denomina, electrodo de referencia (Westbrook, 2000). Así, los montajes bipolares, consisten en una serie de derivaciones que no tienen un electrodo común a todas ellas (Fernández, 2002) y se registran en sitios activos del cerebro (Westbrook, 2000).

El tiempo de frecuencia se representa en ciclos por segundo (cps) o Hertz (Hz). Así, la actividad electroencefalográfica se clasifica en diferentes ondas de frecuencia, que se denominan también bandas de frecuencia: delta (0- 4 Hz), theta (4 a 8 Hz), alfa (8 - 13 Hz), beta (14-30 Hz), y gama (20 – 40 Hz).

Por lo general, las ondas delta se presentan mientras el ser humano se encuentra en la fase de sueño profundo, en la infancia y tras padecer alguna enfermedad del cerebro. Las ondas theta ocurren principalmente en bebés y adultos dormidos, las alfa se presentan cuando el ser humano está en reposo y estado de relajación. Las ondas beta y gama se pueden observar bajo una intensa actividad mental en el cerebro de los individuos. (Mohsen, 2016). En el adulto, el EEG en estado de vigilia presenta una mezcla de diversos potenciales, principalmente alfa y beta y se estructuran rítmica o semirrítmicamente (Godoy, Santín, 2002).

Se ha encontrado que la actividad lenta, específicamente la banda theta aumenta en relación a una gama de tareas mentales, como lo es en la realización de tareas verbales y espaciales. También se ha descubierto que theta aumenta comparablemente en relación con la dificultad de la tarea y que no es sensible al tipo de información cognitiva atendida o recordada (Gevins, Smith, McEvoy y Yu, 1997). De igual forma, se ha observado que la onda theta aumenta la potencia sobre regiones frontales cuando las tareas requieren de una atención concentrada (Ishihari y Yoshii, 1972).

Según las investigaciones las oscilaciones cerebrales de la banda alfa son las que se encuentran mayormente presente en el cerebro humano (Klimesh, 2012). Se ha encontrado que la onda alfa disminuye la potencia en la medida en que las tareas cognitivas aumentan

la dificultad (Gevins, Zeitlin, Doyle, Schaffer y Callaway, 1979). Existen hallazgos que demuestran que la actividad de la banda alfa se desincroniza cuando se requiere de una respuesta a la atención anticipada y cuando no existe una estimulación (Klimesh, 2012). De igual manera, se ha considerado que la potencia alfa tiene un papel fundamental en el mantenimiento sostenido de la información de los elementos de la MT (Kundo, Chang y Postle, 2015).

En diversas investigaciones realizadas con personas diagnosticadas con TDAH se ha encontrado una potencia elevada en ondas lentas (delta y theta) y una potencia reducida en ondas rápidas, principalmente en beta durante las condiciones del estado de reposo (Clarke et al., 2008). En esta línea, una investigación realizada en estudiantes universitarios diagnosticados con TDAH y estudiantes sanos, en la condición de ojos cerrados se encontraron diferencias en ondas lentas y rápidas. Los estudiantes con TDAH mostraron mayor PA en ondas theta en los electrodos anteriores y laterales en comparación con los estudiantes sin diagnóstico. Así mismo el grupo con TDAH presentó menor potencia en ondas alfa en todos los electrodos (Woltering, Jung, Liu y Tannock, 2012). Por su parte, la actividad de la banda beta se ha relacionado con el control cognitivo de la actividad motora y la actividad gama con una variedad de procesos perceptivos y cognitivos (Klimesh, 2012).

Actualmente se utilizan sistemas digitales para el registro del electroencefalograma los cuales permiten mostrarlo de manera gráfica en cualquier formato y a su vez manipularlo para obtener un análisis más detallado, también se utilizan técnicas computarizadas para detectar algunas anomalías (Longo, Fauci., Kasper, Hauser, Jameson y Loscalzo, 2012). Existen diversos métodos de análisis de la señal de EEG entre las que se encuentran: los potenciales relacionados a eventos (PRES) y el análisis cuantitativo del EEG (EEGq) (Silva, 2011).

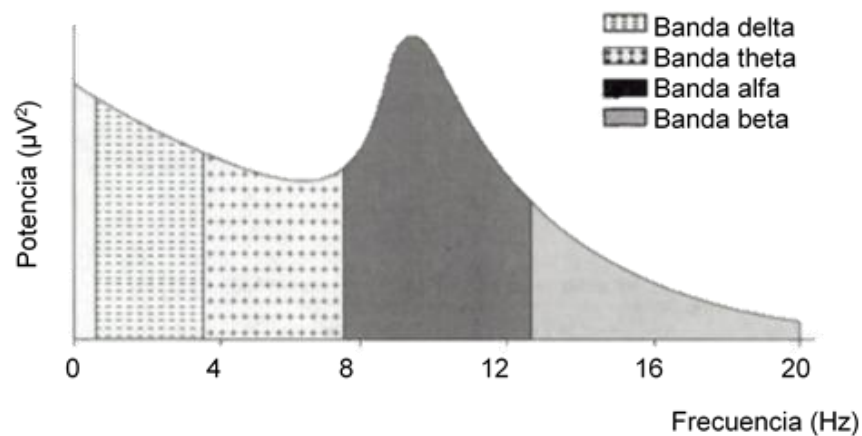
### **1.3.2 Análisis cuantitativo del EEG o espectro de potencia.**

Por medio del análisis cuantitativo del EEG (EEGq) se ha permitido extraer información acerca del estado funcional del cerebro que con inspección visual no es posible obtener. Entre los métodos más utilizados se encuentra el análisis espectral (Alcaraz y Bouzas,

1998).

El EEGq se obtiene de la transformación de la gráfica tradicional del EEG de voltajes (microvolts) en función del tiempo (s), en una gráfica de la potencia ( $\mu V^2$ ) en función de la frecuencia (Hertz; Ricardo, Fernandez, Harmony y Ballesteros, 2002).

A estas medidas se les denomina parámetros espectrales del EEG, las más estudiadas han sido la potencia absoluta (PA) y la potencia relativa (PR; John, Pritchep, Friedman y Easton, 1998). El Espectro de potencia es una función de la frecuencia y proporciona la magnitud de la amplitud de las diferentes bandas de frecuencia (Fig. 1.3; Ricardo et al., 2002).



**Figura 1.3** Espectro de potencia de los distintos componentes de frecuencia en un EEG típico de adulto.

Tomado de Ricardo Garcell (2004).

Para realizar un análisis de frecuencias se seleccionan grupos de segmentos de EEG libres de artefactos y de actividad paroxística, y en cada uno se realiza la transformada de Fourier. A través de este análisis la señal original se descompone en una serie de ondas sinusoidales de diferentes frecuencias, las cuales tendrán una amplitud y una fase característica cada una de acuerdo con las particularidades de la señal. A partir de esto, se calcula el espectro de potencia (EP), el cual es una gráfica de la potencia en función de la frecuencia (Harmony y Fernandez 1995). El análisis de frecuencias del EEG se puede realizar por medio de un análisis de banda estrecha (utilizando las potencias correspondientes a cada frecuencia), sin embargo, como resultan muchos valores, también se pueden agrupar por análisis de banda ancha (utilizando los límites de frecuencia de los ritmos electroencefalográficos; Ricardo,

2004).

Por lo general, las potencias entre 1.5 y 3.5 Hz. se agrupan en la banda delta; las de entre 3.5 y 7.5 Hz., en la banda theta; las de 7.5 a 12.5 Hz., en la alfa; y las que están entre 12.5 y 25 Hz., en la beta. En cada sitio de registro se pueden calcular las medidas potencia absoluta (PA), potencia relativa (PR), frecuencia media (FM), relación de potencias (RP) y coherencia (COH), para cada una de las bandas y para el espectro total (excepto en el caso de la PR). A todas ellas se les conoce también como medidas espectrales de banda ancha (MEBAs).

La PA es la potencia por bandas de frecuencia y en todo el espectro, en cada derivación, es el área representada bajo la curva del espectro. La PR representa el porcentaje de actividad en una banda (de las cuatro bandas del EEG) y se calcula dividiendo el valor de la PA en esa banda entre la suma de los valores de PA de todas las bandas (John et al, 1998). La FM es el valor de frecuencia que divide en dos mitades el área bajo la curva de todo el espectro o de una banda. La RP es considerada como el cociente de las PA entre dos derivaciones cualesquiera y es una medida de la simetría entre los valores de potencia de dichas derivaciones. La COH es una medida de la covariación de los espectros correspondientes a dos derivaciones (Harmony, Marosi, Fernandez, Bernal y Silva, 1994).

## **1.4 Actividad eléctrica cerebral durante tareas de memoria de trabajo**

Varios estudios de EEG han puesto de manifiesto que la MT está asociada con la sincronización de la actividad de las bandas theta y alfa (Akiyama, Tero, Kawasaki, Nishiura y Yamaguchi, 2017; Dai, De Souza, Lim, Ho, Chen, Li, Thakor, Bezerianos y Sun, 2017).

Gevins, Smith, McEvoy y Yu (1997) emplearon tareas tipo n-back de MT verbal y espacial con distintos niveles de dificultad para caracterizar los correlatos de la MT en los ritmos theta y alfa del EEG. Se dividieron en tareas difíciles, aquellas que contenían una gran carga en la MT y en tareas fáciles, en las cuales la carga de MT era menor. En la tarea

difícil los participantes tenían que decidir si la letra que se presentaba coincidía con la ubicación espacial o con una letra particular con el estímulo que se había presentado en tres ensayos anteriores. La condición de esta tarea requería del manteamiento simultáneo de una secuencia de tres nombres de letras o tres ubicaciones espaciales. La tarea fácil solamente requería que los participantes reconocieran una letra en particular o una sola posición espacial. Los resultados conductuales indicaron que los TR para respuestas correctas fueron mayores en las condiciones difíciles que en las condiciones fáciles. Respecto a los resultados electrofisiológicos se encontró que la modulación más específica y confiable relacionada con la tarea de la potencia espectral se produjo en las bandas theta (4 a 7.5Hz) y alfa (7.5 a 14 Hz). La mayoría de los participantes mostró un pico espectral theta en los electrodos frontales de la línea media en la banda theta en el rango de frecuencias de 5 a 7 Hz asociado a la carga de MT. Todos los participantes presentaron un pico de alfa que alcanzó la máxima intensidad de señal sobre regiones occipitoparietales de la línea media en el rango de frecuencias de 10 a 13.5 Hz. El ritmo alfa de baja frecuencia sobre regiones occipitoparietales y parietocentrales disminuyó conforme aumentaba la carga de memoria. Así mismo la potencia de theta fue mayor en la ejecución de la tarea difícil que en las tareas fáciles. En cambio, en la frecuencia alfa se encontró una menor potencia en las tareas difíciles que en las tareas fáciles.

En población estudiantil, Aguirre, Otero y Ferreira (2007) investigaron el tipo de actividad cerebral durante el desempeño de una tarea de MT (3-back) en dos grupos distintos de estudiantes de secundaria: grupo con bajo logro académico y grupo con alto logro académico. Para determinar el bajo o alto logro académico se recurrió a las calificaciones obtenidas en las áreas de matemáticas y español del Examen Nacional de Ingreso a la Educación Media Superior—EXANI-1). Aquellos alumnos con una desviación estándar por debajo del promedio de calificaciones de estas dos áreas pertenecieron al grupo de bajo logro académico y los alumnos que se encontraron por encima del promedio de las mismas, pertenecieron al grupo de alto logro académico. A ambos grupos se les realizaron dos registros de EEG uno en estado de reposo y otro mientras ejecutaban la tarea de MT. Se editaron de 15 a 20 ventanas libres de artefactos de 1280 ms cada una en el registro de la tarea de MT. Se realizó un análisis de frecuencia de banda estrecha cada 0.78 Hz, de 0.78 a

18.78 Hz. Los resultados conductuales de esta investigación arrojaron que no se encontraron diferencias entre los grupos en relación con los tiempos de reacción. Por el contrario, el grupo de alto logro académico obtuvo un mejor desempeño conductual en la tarea de MT en comparación con el grupo de bajo desempeño académico. Los resultados electrofisiológicos en reposo, arrojaron que el grupo de menor logro académico mostró más potencia absoluta (PA) theta en regiones frontales y central (Fz, Cz) así como en derivaciones posteriores (O1, O2, T5 y T6). Al finalizar la tarea de MT, se presentó mayor energía en frecuencias lentas (delta y theta, 1.56 – 4.68 Hz) entre los individuos de alto logro académico en regiones frontales y parietales, así como en la frecuencia de 11.7 Hz regiones temporales izquierdas.

En una investigación realizada con niños diagnosticados con el Trastorno de Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH), el objetivo fue identificar qué proceso de la MT (vigilancia, codificación y mantenimiento) es afectado de manera diferente en el TDAH. Se realizó un EEG en niños con y sin TDAH mientras realizaban una tarea de MT espacial (MTS) de Sternberg. Para el análisis del EEG se calcularon los PREs. Los resultados de esta investigación respecto a las diferencias entre grupos en el proceso de codificación mostraron que existió una desincronización relacionada con el evento en la banda alfa, es decir, una disminución de la potencia alfa, mayormente pronunciada en niños sin TDAH en relación con niños con el diagnóstico. En el proceso de mantenimiento de MT la banda de frecuencia theta tuvo mayor PA en comparación con el reposo, y principalmente en el grupo de niños con TDAH (Lenartowicz, Delorme, Walshaw, Cho, Bilder, McGough, McCracken, Makeig y Loo, 2014).

Así mismo, otra investigación realizada con adultos jóvenes diagnosticados con TDAH se comparó la actividad eléctrica cerebral durante la fase de mantenimiento de la MT con adultos jóvenes sin diagnóstico de TDAH. Se utilizó una tarea de MT visual. Se encontró que el grupo con TDAH tenía menor potencia alfa, que el grupo sin TDAH durante el mantenimiento de la MT. Los resultados de esta investigación apoyan la idea de que la red de control atencional en adultos con TDAH puede funcionar de manera menos óptima en comparación con adultos sin diagnóstico de TDAH (Liu, Glizer, Tannock y Woltering, 2015).

Pavlov y Kotchoubey (2017) en una investigación reciente encontraron cambios en las bandas alfa y theta asociados a las tareas de MT como se ha reportado previamente. El grupo de alto rendimiento en tareas de MT presentó incrementos de potencia theta en regiones cerebrales izquierdas, relacionados a la tarea de MT. Mientras que el grupo de bajo rendimiento se presentó una disminución de la potencia theta en la tarea de mayor complejidad de MT. Respecto a la actividad alfa se encontró un aumento de potencia sobre regiones posteriores. La potencia absoluta beta fue significativamente más baja en las regiones anteriores que en las posteriores e inferior en el hemisferio izquierdo. Dicha actividad aumentó con la carga de MT en las condiciones de manipulación pero disminuyó en las condiciones de retención. Con estos resultados, los autores pudieron afirmar que a nivel individual en el rendimiento verbal efectivo de MT: la actividad alfa se relaciona mayormente con un estado de preparación para procesar e inhibir información que es relevante y que existe una mayor participación de la corteza prefrontal izquierda, lo que puede subyacer el mantenimiento y manipulación eficiente de la información en la MT debido a un rápido intercambio de información entre la memoria a largo plazo y la MT.

## **1.5 Actividad eléctrica cerebral y rendimiento**

Existen investigaciones en donde se analizan los resultados de EEG en relación al rendimiento en diferentes áreas. Así mismo, el uso del EEG se ha utilizado desde hace tiempo como un instrumento de diagnóstico rutinario con niños en los que se tiene sospecha de que presenten algún tipo de discapacidad de aprendizaje (Hartlage y Green, 1973).

Prat, Yamasaki, Kluender y Stocco (2016) realizaron una investigación en la cual el objetivo fue predecir el éxito del aprendizaje de un segundo idioma en la edad adulta por medio de la utilización del EEGq y de una batería psicométrica. Se realizaron registros de EEG de 5 min en estado de reposo con ojos cerrados. El espectro de potencia de registro promedio entre 1.5 y 40 Hz fue calculado por medio del cálculo del EP. Se utilizaron valores de beta de cada participante para caracterizar la tasa de aprendizaje. Se encontró que el EEGq en estado de reposo explicó el 60% de la varianza observada de la tasa de

aprendizaje del lenguaje. La banda de frecuencia más predictiva fue beta-baja (13-14.5 Hz) con correlaciones positivas significativas entre la activación de beta-baja y las tasas de aprendizaje de una segunda lengua en el hemisferio derecho homólogos del hemisferio izquierdo frontal y regiones del lenguaje del temporal frontal y posterior, así como sobre el lóbulo parietal. Así mismo, la activación de la banda de frecuencia theta se correlacionó negativamente con la tasa de aprendizaje de una segunda lengua en el lóbulo parietal izquierdo.

En una investigación reciente se estudió la actividad eléctrica cerebral en niños de entre 8 y 11 años de edad con trastornos de aprendizaje no especificados con el objetivo de determinar si tenían patrones electroencefalográficos específicos. Los niños fueron referidos por sus maestros debido a problemas en el desempeño académico. Se seleccionaron sujetos que puntuaron bajo en al menos dos subescalas de la prueba Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI). Se formaron tres subgrupos según el desempeño de los niños en la prueba Neuropsicológica Infantil (ENI): grupo 1, (G1, quienes obtuvieron puntajes más altos en velocidad de lectura, precisión de lectura y escritura), grupo 2, (G2, niños con mejor rendimiento en composición) y grupo 3 (G3, quienes obtuvieron los puntajes más bajos). A los tres grupos se les realizó un registro de EEG de reposo con ojos cerrados, la PA se obtuvo cada 0.39 Hz, se utilizaron 24 ventanas libres de artefacto de 2.56 s, para analizar los registros de EEG. Se realizó un análisis de banda estrecha para examinar las diferencias en los valores de potencia absoluta entre los grupos. Los resultados de esta investigación arrojaron que el G3 tuvo mayor PA delta en regiones frontotemporales en comparación a los otros grupos. El G2 tuvo mayor PA alfa en áreas frontales izquierdas que el G1 y G3. El G1 tuvo mayor PA en el rango de frecuencias de 21 a 28 Hz (beta) sobre regiones frontopolares y en las derivaciones C4, Pz, T6 y F3 que el G2. De igual manera, el G1 tuvo mayor PA en el rango de frecuencias de 30 a 38 Hz (gamma) que el G2 en regiones frontopolares izquierdas y posteriores. Los autores concluyen que existen niños con distinto perfil cognitivo y correlacionado a esto niños con distinto patrón electroencefalográfico. Es importante considerar estas diferencias para el planteamiento de las intervenciones en niños con trastornos del aprendizaje (Roca, Fernandez, Bosch, Harmony y Ricardo, 2017).

En otra investigación reciente realizada en adolescentes, el objetivo principal fue determinar si las medidas cuantitativas del EEG identificaban diferencias o similitudes en adolescentes prematuros en comparación con adolescentes nacidos a término con y sin diagnóstico de TDAH durante el estado de reposo con ojo abiertos (OA) y las condiciones cognitivas de una tarea de rendimiento continuo con claves (CPT-OX). Se comparó directamente la actividad EEGq entre 186 adolescentes prematuros, 69 adolescentes nacidos a término medio con diagnóstico de TDAH y 135 adolescentes control. En los resultados durante la ejecución de CPT-OX de los grupos de adolescentes prematuros y grupo control, no se encontraron diferencias significativas con respecto a la potencia de la onda delta. Sin embargo, el grupo con TDAH mostró una mayor potencia delta significativa en comparación con los grupos control y prematuros. En el grupo con TDAH el aumento de la potencia delta durante la ejecución de CPT-OX se correlacionó significativamente con un peor rendimiento cognitivo, con aumento en el tiempo de reacción y número de no respuestas. En los análisis de regresión post-hoc en la onda delta se encontró mayor potencia significativa durante la condición OA en el grupo de prematuros en comparación con el grupo control. En esta misma onda la potencia fue mayor, durante el OA en el grupo de TDAH en comparación con el grupo control. Los autores sugieren que incrementos de potencia delta sugieren trauma, patología neuronal o alteraciones en los sistemas de neurotransmisión (Rommel, James, McLouglin, Brandeis, Banaschewski, Ansherson y Kuntsi, 2017).

## 1.6 Planteamiento del problema

Existen diversas investigaciones en las cuales se estudia al rendimiento académico en estudiantes de educación básica, sin embargo, son escasas las investigaciones que se realizan en estudiantes universitarios. Si bien, se ha encontrado que una de las variables relacionadas al rendimiento académico es la memoria de trabajo, esta variable solo ha sido estudiada desde perspectivas neuropsicológicas. Continuando con la relación entre estas dos variables y retomándolas en el plano universitario, existe poco conocimiento sobre las diferencias existentes de la memoria de trabajo entre estudiantes universitarios de alto y bajo rendimiento académico desde una perspectiva psicofisiológica.

Por tanto, en la presente investigación se pretende comparar las diferencias que existen en la actividad eléctrica cerebral asociada a una tarea de memoria de trabajo entre estudiantes de bajo y alto rendimiento académico de la Escuela de Ciencias de la Salud, Valle de las Palmas.

Se conoce que la manera en la que el estudiante universitario emplea sus funciones cognitivas tiene un impacto en su rendimiento académico, por tanto, con la realización de esta investigación se pueden obtener marcadores biológicos de ambos grupos y generar estrategias de intervención educativas orientadas a la estimulación de la memoria de trabajo de los estudiantes, lo que podría ayudar a incrementar el número de estudiantes con alto rendimiento académico. Pues, de acuerdo al Programa de Educación de Baja California (2015-2019) el 50% de los alumnos no se gradúa satisfactoriamente en el tiempo establecido y la tasa de deserción escolar supera el 25%, sobre todo en los primeros años de la licenciatura.

## **1.7 Preguntas de investigación**

1. ¿Qué diferencias existen en el número de respuestas correctas, incorrectas y tiempos de reacción en una tarea de MT entre estudiantes universitarios de Ciencias de la Salud, Valle de las Palmas con rendimiento académico alto y estudiantes con rendimiento académico bajo?
2. ¿Qué diferencias existen en el espectro de potencia del EEG asociado a una tarea de MT entre estudiantes universitarios de Ciencias de la Salud, Valle de las Palmas de rendimiento académico alto y rendimiento académico bajo?

## 1.8 Justificación

Actualmente estudiar las variables que se asocian al rendimiento académico (RA) en estudiantes universitarios ha sido uno de los temas más frecuentes en la literatura en las últimas décadas. Una de las variables que ha sido relacionada con el RA en diferentes investigaciones es la memoria de trabajo (Da costa, 2013; Rosman, Mayer y Krampen, 2016; Schneider y Niklas, 2017). Pues, se ha encontrado que la memoria de trabajo (MT) modera el desarrollo de la búsqueda de información y que desempeña un papel importante en la realización de actividades complejas del ser humano (Rosman et al., 2016).

Desde una perspectiva práctica, el RA juega un papel importante para el estudiante dentro del sistema educativo y una vez que egresa del mismo. Pues, se sabe que las capacidades cognitivas que se relacionan o predicen el RA también explican el desempeño que tienen los empleados en el trabajo. Por lo tanto, se sugiere que un mejor RA se correlaciona con un mejor rendimiento en el puesto de trabajo (Kuncel, Hezlett y Ones, 2004). Aunado a esto de acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (2015), los adultos con niveles educativos más altos tienen mayor probabilidad de ser empleados que los adultos con un nivel de educación inferior. Así mismo, se ha encontrado que diferenciar los factores relacionados con la determinación de un alto o bajo RA ha sido el objeto de estudio de varias disciplinas como la pedagogía y la psicología (Flores, Rivera y Sanchez, 2016).

Si bien, existen estudios desde la psicología en los cuales se estudia el alto y bajo rendimiento académico, son escasas las investigaciones que se han hecho desde una perspectiva electrofisiológica. Pues, en esta misma línea, se ha determinado que el electroencefalograma (EEG) permite realizar comparaciones de las medidas estándares de las capacidades cognitivas como el razonamiento complejo y la MT. Además, el EEG es una de las técnicas más importantes en relación a la descripción de las características de las funciones cerebrales, y a su vez, de las más utilizadas para la evaluación de las capacidades cognitivas (Prat et al., 2016).

Si bien, los factores determinantes del rendimiento académico de los estudiantes es un tema

que ha recibido atención considerable en la literatura educativa y que se ha convertido en un tema desafiante de investigación actual (Duggal y Mehta 2015), son escasas las investigaciones que se han realizado en estudiantes universitarios en relación al RA y la MT desde la actividad eléctrica cerebral.

Desde esta perspectiva pudieran encontrarse correlatos fisiológicos basados en la actividad eléctrica cerebral entre estudiantes de bajo y alto RA que podrían ser considerados para implementar estrategias de intervención a la población estudiantil universitaria. La presente investigación está enfocada en los estudiantes de etapa básica de las carreras de Lic. Cirujano Dentista, Lic. Enfermería, Lic. Psicología y Médico, de la Escuela de Ciencias de la Salud, Valle de las Palmas cuya finalidad, es comparar la actividad eléctrica de los estudiantes universitarios de alto y bajo rendimiento académico de todos los programas educativos de la universidad.

## **1.9 Hipótesis**

1. Los estudiantes universitarios de Ciencias de la Salud, Valle de las Palmas de alto rendimiento académico obtendrán mayor número de respuestas correctas y menores tiempos de reacción en la ejecución conductual de una tarea de memoria de trabajo, en comparación con los estudiantes de bajo rendimiento académico.
2. Los estudiantes universitarios de Ciencias de la Salud, Valle de las Palmas de alto rendimiento presentaran mayor potencia alfa y beta durante la ejecución de la tarea de MT en comparación con los estudiantes de bajo rendimiento académico.

## **1.10 Objetivos**

### **1.11 Objetivo general**

1. Comparar las diferencias conductuales y de la actividad eléctrica cerebral asociada a una tarea de memoria de trabajo entre estudiantes universitarios de Ciencias de la Salud, Valle de las Palmas de alto y bajo rendimiento académico (RA).

### **1.12 Objetivos específicos**

1. Comparar el número de respuestas correctas e incorrectas obtenidas en una tarea de memoria de trabajo entre estudiantes universitarios de Ciencias de la Salud, Valle de las Palmas de alto y bajo RA.
2. Comparar los tiempos de reacción obtenidos en una tarea de memoria de trabajo entre estudiantes universitarios de alto y bajo RA.
3. Comparar el espectro de potencia asociado a una tarea de memoria de trabajo entre estudiantes universitarios de alto y bajo RA.

## **2 Material y método**

### **2.1 Participantes**

Se incluyeron en el estudio 40 estudiantes universitarios de Ciencias de la Salud, Valle de las Palmas, 13 hombres y 27 mujeres de 19 a 48 años de edad de las carreras de Lic. Cirujano Dentista, Lic. Enfermería, Lic. Psicología y Médico.

Criterios de inclusión

- Estudiantes inscritos en la Escuela de Ciencias de la Salud, Valle de las Palmas de etapa básica

Criterios de exclusión

- Estudiantes que presenten algún trastorno mental
- Estudiantes con algún problema/trastorno de aprendizaje
- Estudiantes que se encuentran bajo tratamiento médico
- Estudiantes que presentan consumo de sustancias (drogas, alcohol, nicotina, estimulantes)

Criterios de eliminación

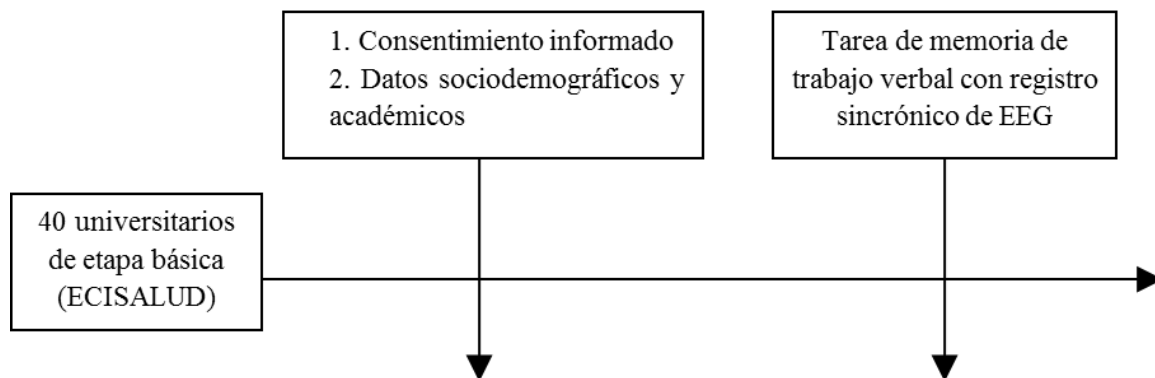
- Estudiantes que interrumpieron la tarea cognitiva
- Estudiantes con registro excesivo de ruido del EEG
- Estudiantes que omitieron respuestas en la tarea de MT

### **2.2 Diseño del estudio**

Se realizó un estudio no experimental, transversal, comparativo. La muestra de investigación perteneció al programa educativo de Ciencias de la Salud, Valle de las Palmas, el cual cuenta con las siguientes carreras: Lic. Cirujano Dentista, Lic. Enfermería, Lic. Psicología y Médico.

La recolección de datos para esta investigación se realizó en un único momento. La primera fase de la investigación fue la selección de los participantes por medio de una invitación a la investigación a través de carteles y posters. Antes de llevar a cabo la investigación, los participantes firmaron un consentimiento informado en el cual se les explicó de manera general en qué consistió la investigación, así como las ventajas e inexistencia de consecuencias físicas para la salud de participar en ella. Todo esto de acuerdo al Comité de Ética en Investigación de la Escuela de Ciencias de la Salud, Valle de las Palmas. A todos los participantes se les aplicó un cuestionario que abarcaba datos sociodemográficos, historia médica e historial académico, este último con el propósito de obtener información sobre su RA. Una vez contestado el cuestionario se realizó el registro de EEG.

Todos los participantes realizaron una tarea de memoria de trabajo tipo Sternberg con registro sincrónico de EEG. Se comparó el desempeño conductual entre estudiantes de bajo y alto RA, considerando al alto rendimiento con un promedio superior a 80 sobre una escala de 100 y al bajo rendimiento con un promedio inferior a 80 sobre una escala de 100. Se cuantificó el número de respuestas correctas, incorrectas y omitidas. Así mismo, se comparó el espectro de potencia en las fases de reposo, atención y mantenimiento (memoria de trabajo: Fig.3).



**Figura 2.** Diseño del estudio

## 2.2.1 Materiales

- Electroencefalógrafo digital *Neuronic Medicid* de 19 canales
- Gorra de electroencefalograma 19 canales Electro-Cap
- Arnes
- Crema conductora
- Gel conductor Electro-Gel eci
- Jeringa y aguja aplicadoras de gel conductor
- 2 electrodos de disco de plata
- Alcohol desnaturalizado Protec
- Gasas Nexcare
- Cinta Micropore
- Algodón esterilizado
- Cepillo para limpiar los electrodos
- Cinta métrica de 100 cm
- Programa de estimulación cognitiva (*Neuronic Estimulador Cognitivo* versión 2.1, Neuronic, S.A).
- Programa de registro de EEG (*Registro Psicofisiología* versión 3.0, Neuronic, S.A.).
- Programa de edición del EEG (*Edición Psicofisiología*, Neuronic, S.A).
- Programa para obtención de espectros de potencia del EEG (*QEEG*, Neuronic, S.A).
- Programa especializado en análisis estadístico de espectros de potencia (*Neuronic Estadística* versión 4.0, Neuronic, S.A).

## 2.3 Procedimiento

La primera fase de la investigación fue la selección de los participantes por medio de una invitación a la misma a través de carteles y posters distribuidos dentro de las instalaciones de la Escuela de Ciencias de la Salud, Valle de las Palmas. Los estudiantes interesados en participar en la investigación fueron contactados vía correo electrónico para responder de forma más detallada las dudas que pudieran tener sobre el proceso de investigación. Una

vez resueltas las dudas, si el estudiante decidía participar en la investigación se llegaba a un acuerdo con él vía correo electrónico sobre las horas disponibles para realizar la tarea de memoria de trabajo con registro sincrónico de electroencefalograma. En dicho correo se les pidió y notificó a los participantes que acudieran con la cabeza bien limpia y el cabello sin algún producto químico (jalea, crema o spray para cabello) y que no consumieran algún tipo de sustancia (drogas, alcohol, nicotina, estimulantes) en las últimas 72 horas previas al registro.

Los participantes acudieron al lugar y hora establecida para el registro de electroencefalograma. Fueron recibidos de manera cordial y con *rapport*. Se les pidió que se sentaran en una silla corrediza y que se pusieran cómodos. Posteriormente se les explicó de manera verbal y general en qué consistía la investigación. Se les dieron a conocer los beneficios de participar, como lo son el tener acceso a los análisis de sus resultados conductuales y de su actividad eléctrica cerebral. También se les explicó que una de las posibles consecuencias al término del registro podría ser presentar leves dolores de cabeza e incluso sensación de sueño o cansancio debido a las condiciones requeridas para la realización de la tarea, pero que estos síntomas no interfieren en lo absoluto en la salud. Las condiciones ambientales para el registro de electroencefalograma fueron en un lugar cerrado, en completo silencio con temperatura no superior a los de los 18 °C, la temperatura se consideró de acuerdo a los criterios del equipo de EEG, puesto que un exceso de calor puede provocar cambios en el registro.

Se les informó que los datos obtenidos eran cien por ciento confidenciales y que nadie podría tener acceso a ellos a excepto la responsable de la investigación y el participante en sí. Para esto se les entregó un consentimiento informado en donde se especificaba de manera escrita lo que anteriormente se les explicó. Si el participante estaba de acuerdo firmaba el consentimiento informado. Posteriormente se le aplicó al participante un cuestionario de datos sociodemográficos, historial médico e historial académico. Dicho cuestionario fue realizado a lápiz- papel y contestado por la responsable de la investigación de acuerdo a las respuestas emitidas por el participante.

Una vez contestado el cuestionario se les pidió de favor a los participantes que colocaran sus celulares y objetos de metal (llaves, llaveros, monedas) en un extremo del escritorio en

donde se realizó la tarea, puesto que el funcionamiento del equipo de EEG puede verse afectado a causa de las interferencias de otros dispositivos de comunicación portátiles y móviles, así como por objetos metálicos. Para continuar, se les volvió a pedir a los participantes que tomaran una postura cómoda y relajada con la mirada hacia la pantalla del estimulador cognitivo, para lo cual fue necesario medir la distancia existente del monitor de la computadora al lugar del participante. La distancia óptima para realizar la tarea fue de 80 centímetros de distancia. Para comenzar con la colocación del equipo de EEG, el primer paso de colocación del equipo fue medir el perímetro de la cabeza del participante con una cinta métrica de 100 centímetros para confirmar que dicho perímetro se encontrara dentro de la medida estándar de la gorra del EEG de 19 canales. También se tomaron las medidas de los puntos nasion e inion para obtener la medida estándar del sistema 10-20 y determinar el electrodo CZ, el cual sirvió de referencia para la colocación de la gorra. El siguiente paso fue colocar un arnés sobre la parte superior del pecho cuidando que este no quedara demasiado apretado ni demasiado suelto, para lo cual, se le preguntaba al participante si se sentía cómodo con dicho arnés.

Posteriormente se colocaron dos electrodos de disco de plata, para esto, fue necesario apartar el cabello y dejar al descubierto las regiones mastoideas (izquierda y derecha). Se limpiaron perfectamente las áreas a colocar los electrodos utilizando un pedazo de algodón humedecido con alcohol etílico. Una vez limpia el área, se relleno la copa de cada electrodo con una pequeña cantidad de crema conductora y fue colocado en las regiones mastoideas limpiadas con anterioridad, se presionó ligeramente hasta que la pasta comenzó a salir por el hoyo central del electrodo, inmediatamente fue limpiado el exceso de crema con un pedazo de gaza o algodón y los electrodos fueron sostenidos por un pedazo de cinta micropor. Luego de colocar los electrodos de referencia, se dio paso a colocar la gorra de 19 canales, de acuerdo al punto de referencia CZ. La gorra fue ajustada por una correa situada debajo de la barbilla del participante y con el arnés para evitar que se moviera. Posteriormente se utilizó una aguja de punta llana para introducir gel conductor a cada uno de los electrodos con el objetivo de reducir las impedancias. Después de esto, se colocaron los dos electrodos de referencia y la gorra al bloque de amplificadores, y se dio paso a medir las impedancias de contacto. La comprobación de la impedancia es imprescindible

para verificar el adecuado contacto entre el electrodo y la piel. Se verifico que las impedancias estuvieran por debajo de los 10 kilohms ( $K\Omega$ ) para cada electrodo. En caso de que algún electrodo no mantuviera impedancias por debajo de estos valores se procedió a volver a colocarlo, si era mastoideo o en su caso volver a remover por arriba de la gorra con gel conductor.

Luego de que el equipo de EEG se encontrara listo se les explicó a los participantes en qué consistía la tarea de memoria de trabajo verbal: *“Vas a realizar una tarea de memoria, en una primera fase te aparecerá un asterisco el cual significa que tienes que prestar atención a los estímulos siguientes que se te presentaran, luego de esto el asterisco se quitara y se aparecerá una serie de dígitos numéricos por un periodo corto de tiempo, lo que tienes que hacer es mantenerlos en tu memoria el mayor tiempo que puedas, porque después de esto desaparecerán y posteriormente va a aparecer un único digito, entonces, tú tienes que decidir si el digito que se te presenta se encontraba o no en la serie anterior. Si estaba lo que tienes que hacer es presionar el botón izquierdo del ratón y si no estaba presionaras el botón derecho, trata de dar la respuesta en el menor tiempo posible, ¿te quedó clara la instrucción?, ¿tienes alguna duda?* Si el participante tuvo alguna duda, se le volvió a explicar la realización de la tarea. De lo contrario, se le pidió al participante que se preparará porque se daría inicio con el registro. Para comenzar a realizar la tarea de memoria de trabajo fue necesario apagar la luz eléctrica y permanecer en completo silencio para evitar distraer al participante.

Tarea de Memoria de trabajo verbal: Paradigma de Sternberg: La tarea diseñada consistió en 200 ensayos en total. Ejemplo de uno de ellos.

1. Aparece en la pantalla del monitor un asterisco, el cual indica que el participante debe prestar atención ante los próximos estímulos.
2. Aparece una pantalla con fondo negro, la cual indica que el estímulo siguiente esta por aparecer.



3. Aparece una serie de cinco dígitos numéricos

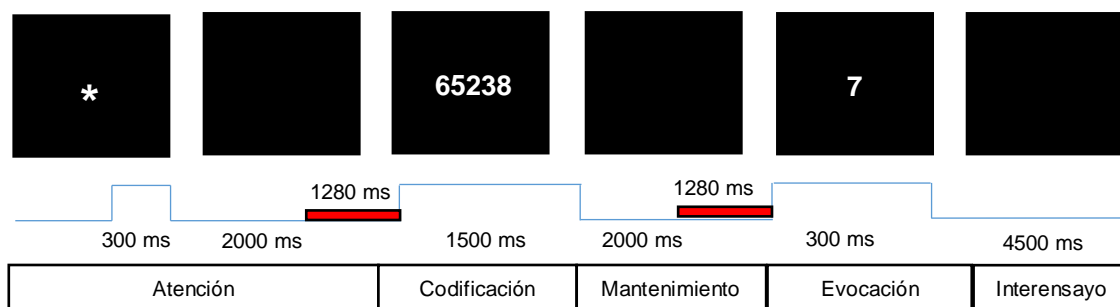
4. Vuelve a aparecer la pantalla en negro

5. Aparece un único dígito numérico en la pantalla

6. Aparece la pantalla en negro y el participante emite su respuesta.



Cada ensayo de la tarea constó de cuatro fases cada uno: atención, codificación, mantenimiento y evocación. En la primera fase (Atención) se le presentó al sujeto un asterisco (\*), durante 300 ms, en esta fase el sujeto debía prestar atención y estar alerta ante el siguiente estímulo que aparecería en la pantalla. En la segunda fase: codificación apareció en la pantalla una serie de 5 dígitos numéricos por 1500 milisegundos, en esta fase el sujeto debía mantener en su memoria los dígitos para poder identificarlos en la siguiente fase. En la tercer fase: mantenimiento apareció una pantalla sin estímulos (de fondo color negro) durante 2000 milisegundos, en ésta fase el sujeto debía mantener en su memoria los ítems codificados previamente. Finalmente, en la cuarta fase: evocación se presentó un estímulo prueba durante 300 milisegundos, el cual era un solo dígito numérico. En esta fase el participante emitió la respuesta. Presionó el botón izquierdo del ratón de la computadora si el dígito se encontraba dentro de la serie presentada anteriormente, de lo contrario presionó el botón derecho. En esta última fase se obtuvieron los tiempos de reacción y el tiempo interensayo fue de 4500 milisegundos (Fig. 2.2).



**Figura. 2.2** Tarea de MT del paradigma de Sternberg. Se presentan las fases de la tarea y su duración. En color rojo se muestra las fases en las que fueron seleccionadas las ventanas para el análisis del espectro de potencia del EEG.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Análisis conductual

El análisis conductual se realizó comparando los parámetros conductuales: número de respuestas correctas, respuestas incorrectas, respuestas omitidas y tiempos de reacción de cada uno de los participantes. Los tiempos de reacción se clasificaron en congruentes: cuando el dígito estímulo se encontraba en la serie de dígitos presentados previamente e incongruente: cuando el dígito no pertenecía a la serie de dígitos presentados previamente. Se compararon estos parámetros entre los grupos de alto y bajo RA. Se eliminó de la muestra final a los participantes que omitieron una o más respuestas.

### Análisis electrofisiológico:

Para la realización del análisis cuantitativo del EEG, se analizaron los segmentos del EEG durante tres intervalos diferentes en cada ensayo: se seleccionaron segmentos de 1280 milisegundos de duración, para el estado de reposo justo antes de la fase de atención (durante el intervalo interensayo), para el estado de atención segmentos de 1280 ms antes de la fase de codificación, después de que el sujeto vio el asterisco que indicaba poner atención y finalmente segmentos de 1280 ms de duración durante la fase de mantenimiento, antes de ver el estímulo prueba al cual los participantes debían responder.

Posteriormente se editaron todas las ventanas seleccionadas del EEG, eliminando las que presentaran artefactos por ruido y actividad extracerebral. Una vez editadas las ventanas se seleccionaron solo los registros que contaron con un mínimo de ventanas eliminadas.

Luego de esto se realizaron los espectros de potencia con el programa EEGq, en el cual se generaron los parámetros del EEG cuantitativo para banda estrecha a cada uno de los tres estados: reposo, atención y memoria. El siguiente paso fue colocar los espectros de potencia previamente generados al programa estadístico Neest (Neuronic). En este programa se crearon grupos de bajo y alto rendimiento académico y se comparó con un análisis de varianza las diferencias en la potencia absoluta de las frecuencias desde 0.78 Hz a 17.97 Hz en todas las regiones cerebrales, realizando una comparación entre grupos (alto y bajo RA) y entre estados (reposo, atención y memoria).

También se realizó un análisis Post-hoc con pruebas T- student, en los cuales se hizo una comparación del grupo de alto RA entre los estados de memoria y atención, al igual que para el grupo de bajo RA. Posteriormente se realizó una comparación para cada estado: reposo, atención y memoria, entre los grupos de alto y bajo RA.

#### Análisis estadístico

Para el análisis de las diferencias conductuales entre los grupos se realizó una U de Mann Withney.

Para el análisis de banda estrecha de los espectros de potencia del EEG, se realizó un ANOVA de 2 X 2, con los factores intergrupo: grupo (bajo rendimiento o alto rendimiento) e intragrupo: condición (Memoria, Atención y Reposo). Se realizaron pruebas t –student como pruebas Post-hoc.

### 3 Resultados

Se invitó a todos los alumnos inscritos a la Escuela de Ciencias de la Salud a participar a la presente investigación. Se realizó el registro de electroencefalograma a un total de 40 estudiantes universitarios de etapa básica. Del total de la muestra se eliminaron 16 participantes por omitir respuestas en la tarea cognitiva y 6 más fueron eliminados por presentar ruido excesivo en el registro de EEG y no cumplir con al menos 44 ventanas libres de artefactos. La muestra final estuvo compuesta por 18 estudiantes universitarios del área de Ciencias de la Salud, Valle de las Palmas. Del total de los participantes de la muestra final 7 presentaron un promedio considerado como alto y 11 presentaron un promedio considerado como bajo.

La edad promedio de la muestra final fue de  $20.72 \pm 1.48$  años. Participaron 12 mujeres (66.6%) y 6 hombres (33.3%). La carrera de psicología abarcó el 88.8% de la muestra final y cirujano dentista el 11.1%. La media del promedio de calificaciones del grupo de alto RA fue de  $84.72 \pm 4.25$  y la media del promedio de calificaciones del grupo de bajo RA fue de  $73.64 \pm 2.61$  (Tabla. 3).

**Tabla 3.** Resultados sociodemográficos de la muestra final de los estudiantes universitarios.

<b>Grupo</b>	<b>Alto (RA)</b>	<b>Bajo (RA)</b>
<b>Género</b>		
Hombres	0	6
Mujeres	7	5
<b>Edad</b>	$20.14 \pm 1.06$	$21.09 \pm 1.64$
<b>Promedio Global de Calificaciones</b>	$84.72 \pm 4.25$ *	$73.64 \pm 2.61$ *
<b>Materias reprobadas</b>	0	9*

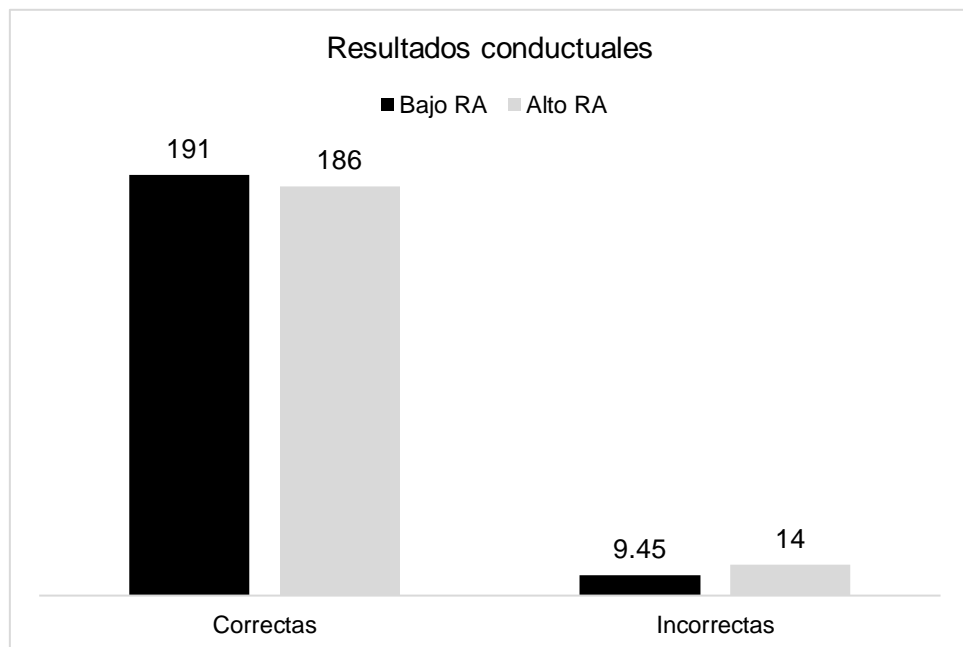
Promedio global: \* ( $z=3.48, p=0.0004$ )\*, materias reprobadas: ( $z= 3.05 p=0.002$ )

No se encontraron diferencias significativas respecto a la edad ( $z =1.21, p=0.22$ ). El grupo de alto RA obtuvo un promedio significativamente más alto que el grupo de bajo RA ( $z=3.48, p=0.0004$ ). El grupo de bajo rendimiento tuvo significativamente mayor número

de materias reprobadas que el grupo de alto rendimiento ( $z= 3.05$   $p =0.002$ ).

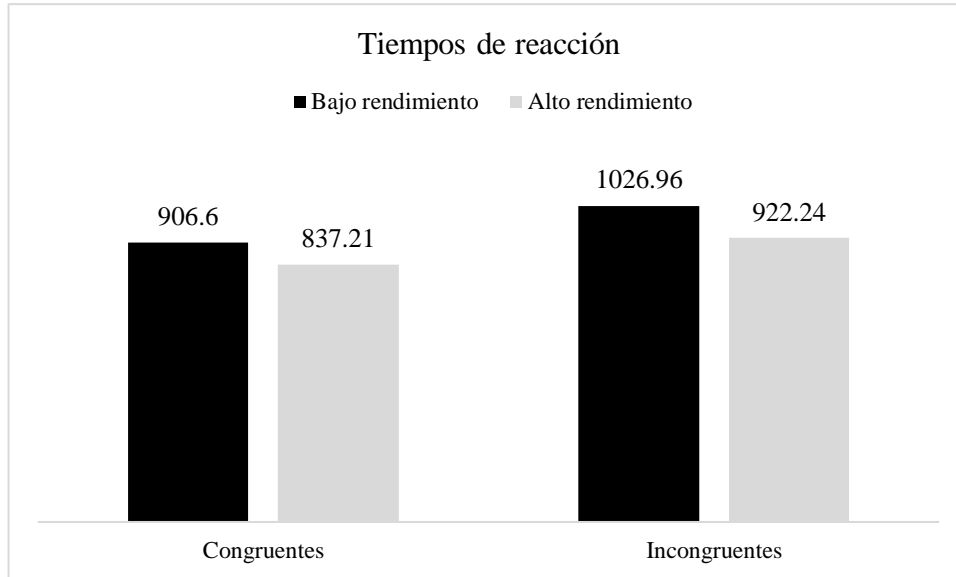
### 3.1 Resultados conductuales

El grupo de bajo RA tuvo significativamente mayor número de respuestas correctas ( $z=2.00$ ,  $p=0.044$ ) que el grupo de alto RA (con una media de 191 vs 186 respectivamente). El grupo de alto RA tuvo mayor número de respuestas incorrectas que el grupo de bajo RA ( $z=1.96$ ,  $p=0.04$ ) (Figura 3).



**Figura 3.** Resultados conductuales. Comparación de los grupos de bajo y alto RA en relación al promedio del total de respuestas correctas y el promedio del total de respuestas incorrectas.

No hubo diferencias significativas en los TR ( $z= 0.86$ ,  $p=0.389$ ) entre los grupos de RA. Sin embargo, los TR fueron mayores en el grupo de bajo RA. El grupo de bajo RA tuvo un promedio de TR en ensayos congruentes de 906.60 y el promedio del TR para ensayos incongruentes fue de 1026.96. El grupo de alto RA tuvo un promedio de TR de respuestas congruentes de 837.21 y el promedio del TR en respuestas incongruentes fue de 922.24 (Figura 3).



**Figura 4.** Resultados conductuales. Comparación de los tiempos de reacción ante respuestas congruentes e incongruentes entre los grupos de bajo y alto rendimiento académico.

## 1.1 Resultados del análisis cuantitativo del EEG

### 1.1.2 Resultados del ANOVA Global.

#### Diferencias entre grupos (Bajo y Alto RA)

Con el objetivo de conocer las diferencias existentes entre la actividad eléctrica cerebral entre los grupos de bajo y alto RA, se realizó un Anova global. Se encontró que existen diferencias significativas ( $F=4.49$ ,  $p < 0.05$ ) en la frecuencia 12.50 Hz en regiones occipitales izquierdas y fronto-temporales derechas (O1, F8). En la frecuencia 13.28 Hz sobre la región temporal posterior derecha (T6; Fig. 3.2).

#### Diferencias entre estados (reposo vs atención vs memoria)

Con el objetivo de conocer las diferencias en la actividad eléctrica cerebral entre los tres estados de la tarea: reposo, atención y memoria entre ambos grupos, se realizó una

comparación entre los mismos por medio de un Anova global y se encontró que existen diferencias significativas ( $F=3.29$ ,  $p < 0.05$ ) en el rango de frecuencias de 0.78 a 3.12 Hz sobre regiones frontales anteriores izquierdas, frontales izquierdas, parietales y temporales derechas y en regiones centrales (Fp1, Fp2, F3, F7, P4, T6, CZ, PZ), de 7.03 a 10.94 Hz en regiones frontales bilaterales, parietales izquierdas, temporales derechas, en regiones centrales izquierdas y centrales frontales y posteriores (F3, F4, P3, T4, T6, C3, FZ, CZ, PZ). En la frecuencia 17.97 en regiones frontales centrales (FZ) (Fig. 3.2).

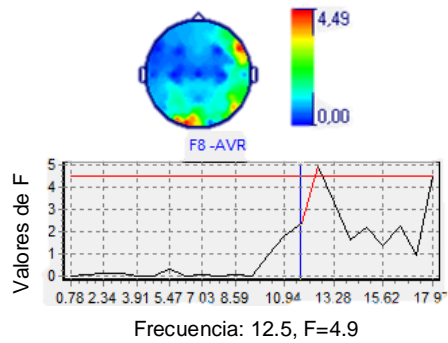
### 3.2.3

#### **Diferencias entre la interacción (grupo y estados)**

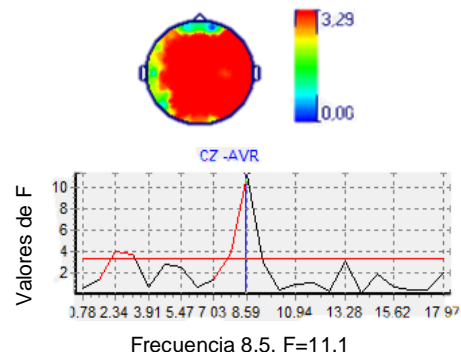
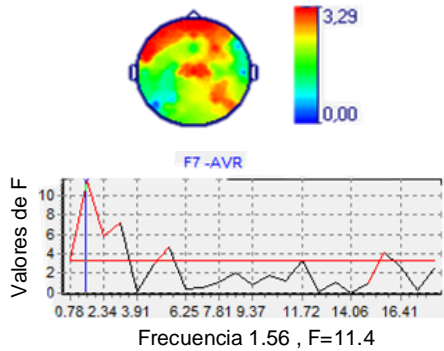
Con el objetivo de conocer las diferencias de la actividad eléctrica cerebral entre ambos grupos, bajo y alto RA y los estados, se realizó un Anova global y se encontró que existen diferencias significativas ( $F=3.29$ ,  $p < 0.05$ ) en la frecuencia 10.16 Hz en la región temporal izquierda (T3) y en la frecuencia 14.840 Hz en región parietal izquierda y central (T3, C3), en la frecuencia 16.41 en regiones temporales y occipitales izquierdas (O1, T5) (Fig. 3.2).

## ANOVA

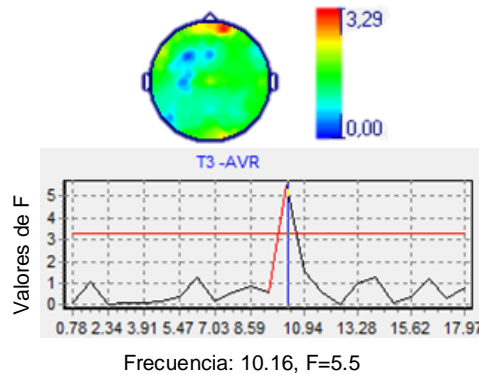
Grupo (nivel umbral  $F=4.49$ ,  $p < 0.05$ )



Condición (nivel umbral  $F=3.29$ ,  $p < 0.05$ )



Grupo X Condición (nivel umbral  $F=3.29$ ,  $p < 0.05$ )



**Figura 3.2.** Comparación de los espectros de potencia del EEG entre grupos. ANOVA global. Se muestran algunos mapas topográficos de los cambios significativos en frecuencias representativas acompañados de una gráfica con todas las frecuencias de la banda estrecha analizadas en el eje horizontal y los valores F en el eje vertical. La línea azul vertical representa la frecuencia en cuestión. La línea roja horizontal el umbral estadístico. Los mapas topográficos muestran en color rojo la región cerebral en la que se encontraron diferencias significativas.

### **1.1.3 Análisis post-hoc de las diferencias intergrupo (alto y bajo RA)**

#### **Diferencias intergrupo en el estado de reposo**

Con el objetivo de encontrar diferencias de la actividad eléctrica cerebral entre ambos grupos (bajo y alto RA) y el estado de reposo se realizó un análisis post-hoc de las diferencias intergrupo. Se encontró que en el rango de frecuencias 5.47 a 7.03 Hz existe mayor potencia ( $t=1.75$ ,  $p < 0.05$ ) en el grupo de bajo que en el de alto RA sobre regiones temporales izquierdas. En la frecuencia 8.59 Hz existe mayor potencia ( $t=1.75$ ,  $p < 0.05$ ) en el grupo de bajo RA sobre regiones temporales izquierdas (T3). En la frecuencia 14.06 Hz existe menor potencia ( $t=1.75$ ,  $p < 0.05$ ) en el grupo de bajo RA sobre regiones frontales derechas y occipitales izquierdas (F8, O1). En el rango de frecuencias 17.19 a 17.97 Hz existe menor potencia ( $t=1.75$ ,  $p < 0.05$ ) para el grupo de bajo que para el de alto RA sobre regiones occipitales izquierdas (O1) (Fig.3.3, Tabla 3.1).

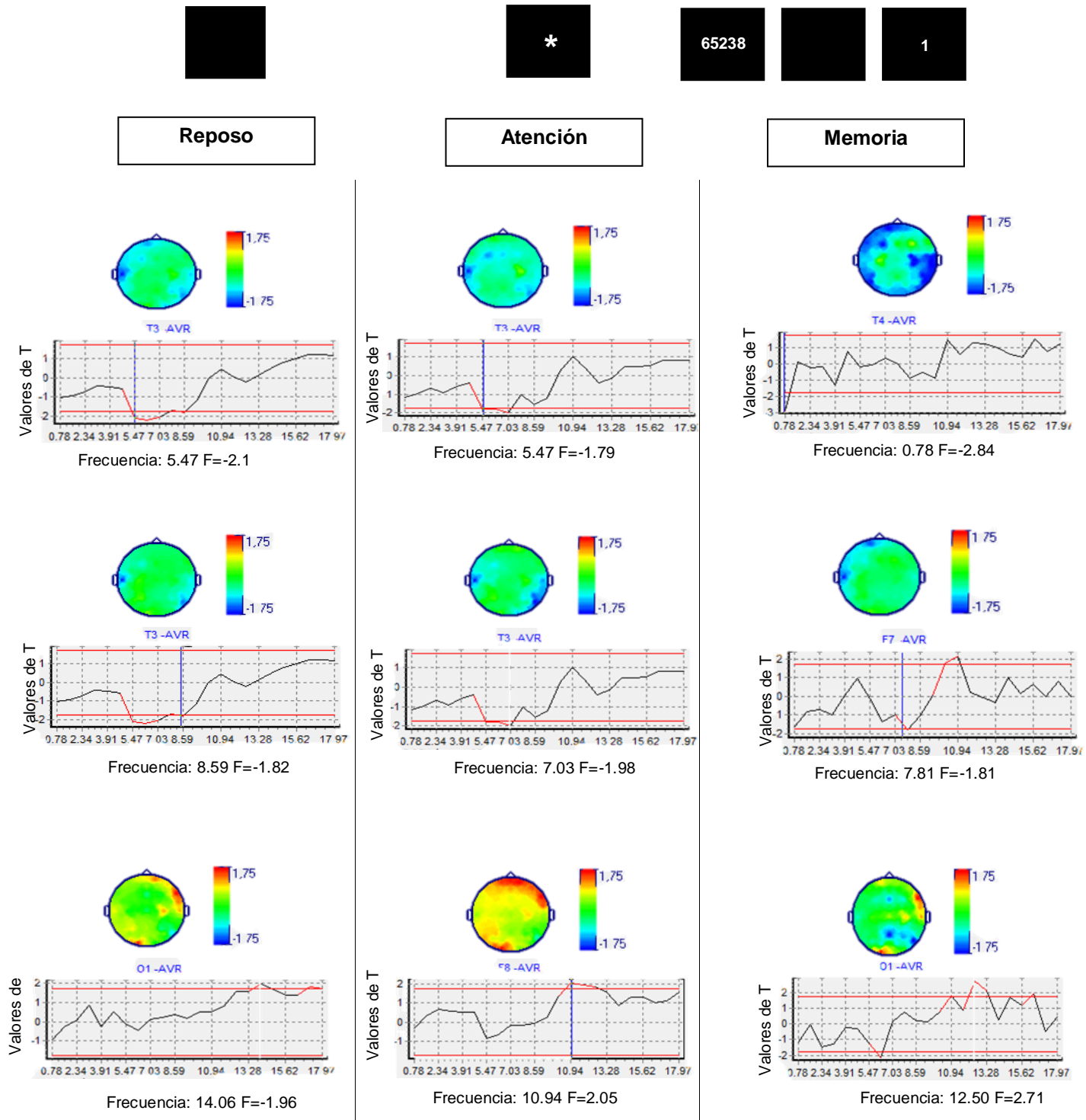
#### **Diferencias intergrupo en el estado de atención**

Con el objetivo de encontrar diferencias de la actividad eléctrica cerebral entre ambos grupos (bajo y alto RA) y el estado de atención se realizó un análisis post-hoc de las diferencias intergrupo. Se encontró que en el rango de frecuencias 5.47 a 7.03 Hz existe mayor potencia ( $t=1.75$ ,  $p < 0.05$ ) en el grupo de bajo que en el de alto RA sobre regiones temporales izquierdas (T3). En el rango de frecuencias 10.94 a 12.50 Hz existe menor potencia ( $t=1.75$ ,  $p < 0.05$ ) para el grupo de bajo RA sobre regiones frontales derechas y occipitales izquierdas (F8, O1). En el rango de frecuencias 12.50 a 14.06 Hz existe mayor potencia ( $t=1.75$ ,  $p < 0.05$ ) para el grupo de bajo que el grupo de alto RA sobre regiones temporales y parietales derechas (T6, P4), en este mismo rango de frecuencias existe menor potencia ( $t=1.75$ ,  $p < 0.05$ ) en el grupo de bajo RA en regiones frontales y frontales anteriores derechas (Fp2, F8).

#### **Diferencias intergrupo en el estado de memoria**

Con el objetivo de encontrar diferencias de la actividad eléctrica cerebral entre ambos grupos (bajo y alto RA) y el estado de memoria se realizó un análisis post-hoc de las diferencias intergrupo. Se encontró que en la frecuencia 0.78 Hz existe mayor potencia

( $t=1.75$ ,  $p < 0.05$ ) en el grupo de bajo que el grupo de alto RA sobre regiones frontales izquierdas, centrales derechas y temporales bilaterales (Fp1, F3, C4, T4, T5, T6). En la frecuencia 3.9 Hz existe mayor potencia ( $t=1.75$ ,  $p < 0.05$ ) en el grupo de bajo RA en regiones centrales izquierdas. En la frecuencia 6.25 Hz existe mayor potencia ( $t=1.75$ ,  $p < 0.05$ ) en el grupo de bajo RA sobre regiones occipitales izquierdas (O1). En la frecuencia 7.81 Hz existe mayor potencia ( $t=1.75$ ,  $p < 0.05$ ) en el grupo de bajo RA sobre regiones frontales izquierdas (F7). En el rango de frecuencias 10.16 a 10.94 Hz existe menor potencia ( $t=1.75$ ,  $p < 0.05$ ) en el grupo de bajo que en el grupo de alto RA sobre regiones frontales y temporales izquierdas (F7, T3). En el rango de frecuencias 12.50 a 13.28 Hz existe menor potencia ( $t=1.75$ ,  $p < 0.05$ ) en el grupo de bajo RA sobre regiones occipitales izquierdas y frontales derechas (O1, F8). En la frecuencia 16.41 Hz existe menor potencia ( $t=1.75$ ,  $p < 0.05$ ) en el grupo de bajo RA sobre regiones frontales derechas, occipitales izquierdas y temporales izquierdas (Fp2, O1, F8, T5) (Fig. 3.3, Tabla 3.1).



**Figura 3.3.** Análisis post hoc de las diferencias intergrupo en cada una de las condiciones: reposo, atención y memoria. Se presentan los valores t en el eje vertical. Valores t positivos, en color rojo en el mapa topográfico indican mayor potencia en el grupo de alto RA en comparación con el grupo de bajo RA. Valores t negativos, en color azul en el mapa topográfico indican mayor potencia en el grupo de bajo RA en comparación con el grupo de alto RA ( $t = \pm 1.75$ ,  $p < 0.05$ ).

### **1.1.4 Análisis post hoc de las diferencias intragrupo (entre estados)**

#### **Comparación entre reposo y atención en el grupo bajo RA**

Con el objetivo de conocer las diferencias de la actividad eléctrica cerebral entre los estados de reposo y atención del grupo de bajo RA se realizó un análisis post hoc de las diferencias intragrupo. Se encontró que en la frecuencia 1.56 Hz existe una disminución de la potencia ( $t=1.81$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de atención en comparación con la de reposo en regiones frontales anteriores derechas, frontales izquierdas, centrales bilaterales y parietales, occipitales y temporales derechas (Fp2, F3, F7, C3, C4, P4, O2, T6). En esta misma frecuencia existe un aumento de la condición de atención en la región central (CZ). En el rango de frecuencias 2.34 a 3.91 Hz existe una disminución de la potencia ( $t=1.81$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de atención en regiones frontales anteriores bilaterales y frontales izquierdas (Fp1, Fp2, F7). En el rango de frecuencias 4.69 a 7.03 Hz existe una disminución de la potencia ( $t=1.81$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de atención sobre regiones frontales anteriores derechas (Fp2). En la frecuencia 7.81 Hz existe un aumento de la potencia ( $t=1.81$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de atención en regiones centrales, centrales izquierdas y en regiones occipitales y temporales bilaterales (CZ, PZ, C3, O1, O2, T4, T5, T6). En la frecuencia 10.16 Hz existe una disminución de la potencia ( $t=1.81$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de atención en regiones frontales anteriores bilaterales (Fp1, Fp2). En el rango de frecuencias 14.84 a 16.62 Hz existe un aumento de la potencia ( $t=1.81$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de atención en regiones frontales derechas, occipitales izquierdas, temporales bilaterales y en regiones centrales (F4, O1, T4, T5, T6, PZ) (Fig. 3.4, Tabla 3.2).

#### **Comparación entre atención y memoria en el grupo de bajo RA**

Con el objetivo de conocer las diferencias de la actividad eléctrica cerebral entre los estados de atención y memoria del grupo de bajo RA se realizó un análisis post hoc de las diferencias intragrupo. Se encontró que en el rango de frecuencias 0.78 a 3.12 Hz existe una disminución de la potencia ( $t=1.81$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de memoria en comparación con la condición de atención en regiones frontales izquierdas, centrales, parietales y temporales bilaterales (Fp1, F3, F7, C3, P3, P4, T4, T5, T6). En el rango de frecuencias 5.47 a 7.03 Hz existe una disminución de la potencia ( $t=1.81$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de

memoria sobre regiones frontales anteriores izquierdas (Fp1). En la frecuencia 8.59 Hz existe un aumento de la potencia ( $t=1.81$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de memoria en regiones frontales y temporales derechas y en regiones centrales anteriores y posteriores (F4, P4, F8, T4, T6, FZ, CZ, PZ). En el rango de frecuencias 7.81 a 10.16 Hz existe un aumento de la potencia ( $t=1.81$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de memoria en regiones temporales derechas (T4). En la frecuencia 11.72 Hz existe un aumento de la potencia ( $t=1.81$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de memoria en regiones centrales bilaterales (C3, C4). En la frecuencia 14.84 Hz existe un aumento de la potencia ( $t=1.81$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de memoria en regiones temporales derechas (T4). En la frecuencia 17.97 Hz existe un aumento de la potencia ( $t=1.81$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de memoria en regiones centrales y centrales bilaterales (C3, C4, FZ, CZ) (Fig. 3.5, Tabla 3.2).

### **Comparación entre reposo y atención en el grupo alto RA**

Con el objetivo de conocer las diferencias de la actividad eléctrica cerebral entre los estados de reposo y atención del grupo de alto RA se realizó un análisis post hoc de las diferencias intragrupo. Se encontró que en la frecuencia 0.78 Hz existe una disminución de la potencia ( $t=1.94$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de atención en comparación con la condición de reposo en regiones frontales derechas y centrales y en regiones temporales bilaterales (F8, FZ, T4, T6). En el rango de frecuencias de 2.34 a 3.12 Hz existe una disminución de la potencia ( $t=1.94$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de atención en regiones frontales derechas (F8). En la frecuencia 3.91 Hz existe una disminución de la potencia ( $t=1.94$ ,  $p < 0.05$ ) de la condición de atención en regiones occipitales bilaterales (O1, O2). En el rango de frecuencias de 7.03 a 7.81 existe un aumento de la potencia ( $t=1.94$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de atención en regiones temporales izquierdas (T3, T5). En el rango de frecuencias de 10.94 a 12.50 Hz existe un aumento de la potencia ( $t=1.94$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de atención en regiones temporales derechas (T4, T6). En la frecuencia 15.62 Hz existe un aumento de la potencia ( $t=1.94$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de atención en regiones centrales posteriores (PZ) (Fig.3.4, Tabla 3.2).

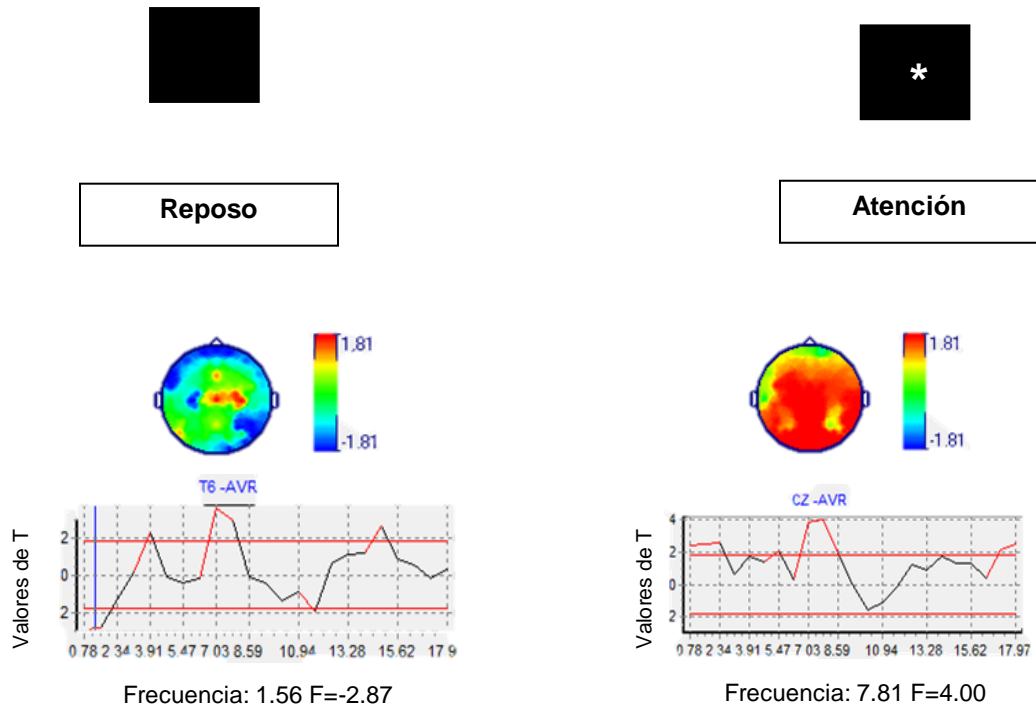
### **Comparación entre atención y memoria en el grupo de alto RA**

Con el objetivo de conocer las diferencias de la actividad eléctrica cerebral entre los estados

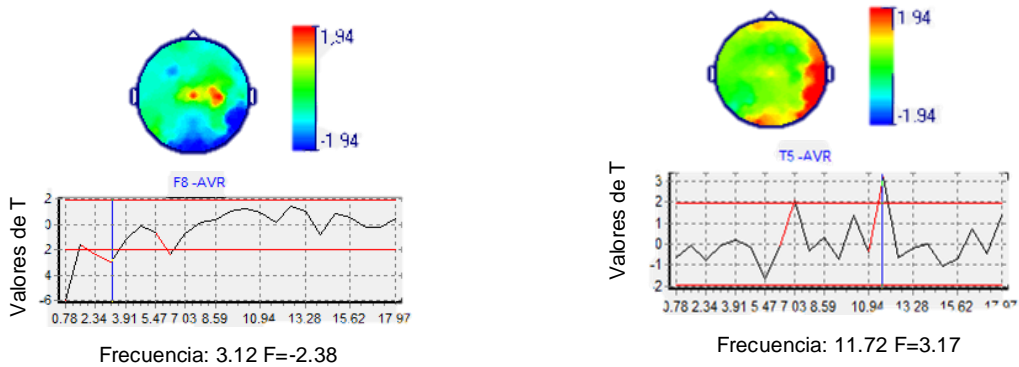
atención y memoria del grupo de alto RA se realizó un análisis post hoc de las diferencias intragrupo. Se encontró que en el rango de frecuencias de 1.56 a 3.12 Hz existe un aumento de la potencia ( $t=1.94$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de memoria en comparación a la condición de atención en regiones frontales izquierdas, occipitales derechas, temporales izquierdas y en regiones centrales (F7, O2, T3, CZ). En el rango de frecuencias de 6.25 a 7.03 Hz existe una disminución de la potencia ( $t=1.94$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de memoria en regiones parietales y temporales izquierdas (P3, T5). En el rango de frecuencias de 7.03 a 9.37 Hz existe una disminución de la potencia ( $t=1.94$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de memoria en regiones parietales izquierdas (P3). En el rango de frecuencias de 8.59 a 10.94 Hz existe una disminución de la potencia ( $t=1.94$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de memoria en regiones centrales posteriores (PZ). En el rango de frecuencias de 16.41 a 17.19 existe un aumento de la potencia ( $t=1.94$ ,  $p < 0.05$ ) en la condición de memoria en regiones temporales derechas (T6; Fig.3.5, Tabla 3.2).

ANOVA GRUPOS			Pruebas t (Reposo)		Pruebas t (Atención)		Prueba t (Memoria trabajo)	
Frecuencia	F*	Topografía	Bajo RA	Alto RA	Bajo RA	Alto RA	Bajo RA	Alto RA
0.780			↑O2					
1.560								
2.340							↑P3	
3.120								
3.910				↑PZ			↑C3	↑C4
4.690						↑C4		
5.470			↑T3,T4		↑T3			
6.251			↑T3		↑T3		↑O1	
7.030			↑T3		↑T3, T6			
7.810							↑F7	
8.590			↑T3				↑T3	
9.370								
10.160								↑F7, T3
10.940						↑2.05		↑Fp2, O1, F7
11.720			↑T6			↑Fp2,O1,F8		↑C4, P3
12.500	6.77, 4.92	O1, F8	↑T6		↑T6	↑O1,F8		↑O1, F8
13.280	6.43	T6	↑T6		↑P4, T6	↑Fp2	↑T6	↑O1
14.060				↑O1, F8	↑T6			
14.840				↑F8			↑T6	
15.620								
16.410						↑O1		↑Fp2,O1,F8,T5
17.190				↑O1				
17.970				↑O1		↑Fp2		↑F8

**Tabla 3.1** ANOVA y T-Student de las condiciones (reposo, atención, memoria) entre grupos de bajo y alto RA. Se muestran las principales diferencias significativas.

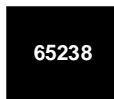


**Bajo RA**



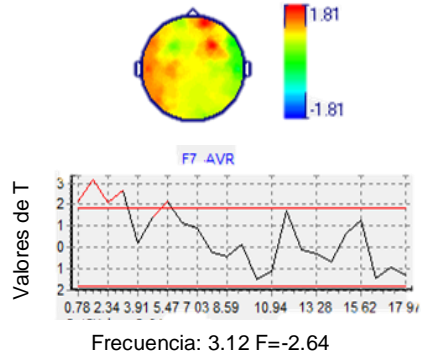
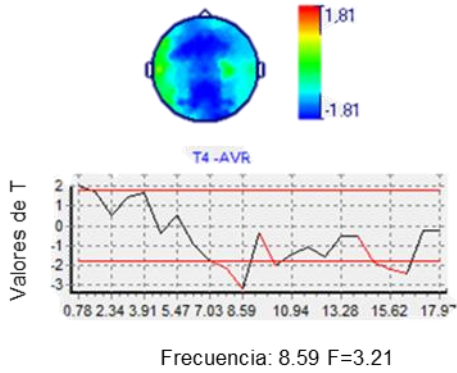
**Alto RA**

**Figura 3.4.** Análisis post hoc entre las condiciones de reposo y atención en ambos grupos ( $p < 0.05$ ). Los valores t positivos, en color rojo en el mapa topográfico indican aumento de la potencia en la condición de atención. Valores t negativos en color azul indican disminución de la potencia durante la condición de atención en comparación con la de reposo.

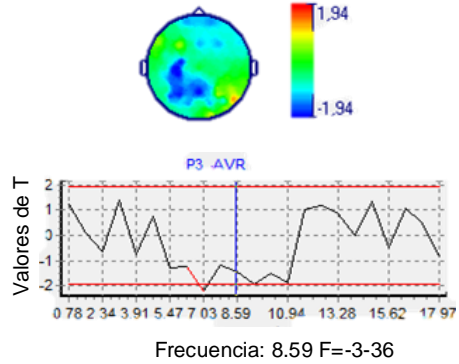
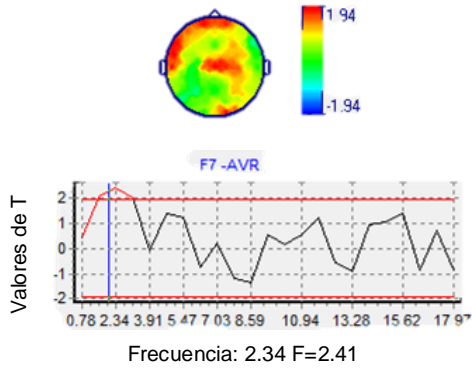


Atención

Memoria



Bajo RA



Alto RA

**Figura 3.5.** Análisis post hoc entre las condiciones atención y memoria en ambos grupos ( $p < 0.05$ ). Los valores t positivos, en color rojo en el mapa topográfico indican aumento de la potencia en la condición memoria. Los valores t negativos, en color azul, indican disminución de la potencia en la condición de memoria en comparación con la condición de atención.

ANOVA CONDICIONES			Prueba t (Reposo-Atención)		Prueba t (Atención-Memoria)	
Frec.	F*	Topografía	Atención Bajo RA	Atención Alto RA	Memoria Bajo RA	Memoria alto RA
0.78	4.38 - 7.9	F3,P3,P4,O2,F7,T3,T6				↑T3
1.56	3.88 - 7.5	F3, C4,P4,O1,F7,T3,T6	↑CZ			↑Fp1,P4,F7,T5
2.34	4.02 - 6.0	Fp1,Fp2,F7, CZ	↑CZ			↑O2,F7,T3,CZ
3.12	3.35 - 7.2	Fp1, Fp2,P3,P4,F7,F8,T4,T6,CZ,PZ			↑F8	↑F3,F7
3.91	4.10	T6	↑T6	↑C4	↑C4	↑P4
4.69	3.31 - 3.4	Fp2, T3		↑PZ		↑F4
5.47	4.69 - 5.0	Fp1, F7	↑CZ		↑Fp1	
6.25	7.19	Fp2		↑O2		
7.03	3.36	C3	↑C3,C4,T6,CZ,PZ	↑C4,P3,F8,T4	↑PZ	
7.81	3.90 - 8.9	C3, P3, CZ, PZ	↑C3,O1,O2,T4,T5,T6,CZ,PZ	↑T3	↑C3,P3,T4	↑T4
8.59	3.8 - 11.1	F3,F4,C3,P3,P4,F8,T4,T6,FZ,CZ,PZ	↑CZ		↑F4,P4,F8,T4,T6,FZ,CZ,PZ	↑T4
9.37	4.28 - 8.4	F4, FZ, PZ			↑F3,O2,FZ,PZ	
10.16	3.7 - 13.4	C3,T4, PZ			↑T3,T4	↑T4
10.94	3.65 - 4.6	C3,T3, PZ		↑T4,T6,PZ	↑T3	
11.72	3.30	Fp1		↑F3,T5,FZ,CZ	↑C3,C4	
12.50			↑T4	↑T4, T6		
13.28	11.93	Fp2	↑F4		↑CZ	
14.06			↑P3,O2,T4,T5	↑T4		↑T3
14.84	3.90 - 4.5	Fp1,O1	↑F4,O1,O2,F8,T3,T4,T5,T6,		↑P3,O1	↑Fp1
15.62	3.41 - 4.1	F7,T3, PZ	↑F3,F4,C4,P4,O1,T3,T4,T5,	↑PZ	↑C3,C4,T4	↑T5
16.41	3.83	O1	↑F4,C4,O2,T3,T4,PZ	↑O1	↑P4,T3	↑T6
17.19			↑Fp2,F4,T4,FZ,CZ,PZ		↑O1, FZ	↑T3,T6
17.97	3.61 - 6.7	F3, C3, C4, FZ	↑ O1,O2,CZ		↑F3,C3,C4,FZ,CZ	

**Tabla 3.2** ANOVA y T-Student entre condiciones (reposo-atención, atención-memoria).

## 4 Discusión

La presente investigación tuvo como objetivo conocer las diferencias existentes en la ejecución conductual y en la actividad eléctrica cerebral en una tarea de memoria de trabajo (MT) verbal entre estudiantes universitarios que presentan bajo y alto RA pertenecientes a la Escuela de Ciencias de la Salud. Si bien, existen múltiples estudios e investigaciones en las cuales se pretende determinar cuáles son los componentes que explican el RA son escasas las investigaciones realizadas en este tipo de población desde una perspectiva psicofisiológica.

### 4.1 Análisis conductual

En el desempeño conductual de la tarea de memoria de trabajo (MT) verbal se encontró que el grupo de bajo RA obtuvo un mayor número de respuestas correctas ( $z=2.00$ ,  $p=0.044$ ) en comparación con el grupo de alto RA. Nuestros resultados son contrarios a los encontrados en la investigación de Aguirre et al., (2007) realizada en estudiantes de secundaria en la cual, también se compararon los grupos de alto y bajo RA por medio de la realización de una tarea de MT (3-back) y encontraron que el grupo de bajo RA obtuvo menor número de respuestas correctas en comparación con el grupo de alto RA. Una de las razones por las cuales los resultados pueden ser distintos es el tipo de tarea empleada ya que en la presente investigación se empleó una tarea tipo Sternberg.

Siguiendo con estos resultados, una explicación de esta contradicción entre lo esperado y lo encontrado puede rescatarse de las investigaciones entre RA y autoeficacia. Por ejemplo, en investigaciones recientes se ha encontrado que existe una correlación positiva y significativa entre la autoeficacia y el RA (Richardson et al., 2012; Galleguillos y Olmedo, 2017), lo cual determina que cuanto mayor autoeficacia se percibe, las personas buscan metas más desafiantes y de mayor esfuerzo (Galleguillos y Olmedo, 2017), lo que pudiera significar que la tarea fue relativamente sencilla para ambos grupos, sin embargo, pudiera existir un mayor nivel de autoeficacia en el grupo de alto RA en comparación que el de bajo y por tanto, requerir de menos esfuerzo al momento de decidir y ejecutar las respuestas de la tarea de MT y por tanto obtuvieron mayor número de errores.

Respecto a los resultados conductuales de los tiempos de reacción (TR) durante la tarea de MT en respuestas correctas, nuestros resultados arrojaron que los TR fueron mayores para el grupo de bajo RA que para el grupo de alto RA (906.60 vs 837.21). Nuestros resultados concuerdan con la literatura previa, se ha encontrado que las respuestas correctas se relacionan con TR más largos en comparación con la ejecución de respuestas incorrectas (Marshall, Mölle, Sibner y Born, 2005).

Los TR más largos para el grupo de bajo RA, pudieran sugerir que el grupo de bajo RA presenta mejor capacidad de procesamiento de selección y preparación al momento de emitir las respuestas. Considerando que estos dos elementos conforman a las funciones ejecutivas (FE), estos hallazgos permiten establecer una relación entre estas y la posible realización de intervenciones para el entrenamiento de las FE en los estudiantes universitarios. Como mencionan Baars, Nije, Tonnaer y Jolles, (2015), desarrollar las FE en la educación superior conduce a un mejor RA, actitud de aprendizaje y motivación.

Finalmente, con respecto a nuestra primera hipótesis, la cual fue que los estudiantes alto RA obtendrían mayor número de respuestas correctas en la ejecución conductual de la tarea de MT, esta fue rechazada, debido a que fue el grupo de bajo RA quien obtuvo mejores puntajes en comparación con el grupo de alto RA. Estos hallazgos pudieran estar relacionados con el pequeño tamaño final de la muestra, así como también por la diferencia de participantes en ambos grupos.

## **4.2 Análisis del espectro de potencia del EEG**

Con el objetivo de determinar las diferencias que existen en la actividad eléctrica cerebral asociada a una tarea de memoria de trabajo entre estudiantes universitarios de Ciencias de la Salud de alto y bajo rendimiento académico, primero se realizó un análisis post-hoc de las diferencias de los grupos de alto y bajo RA en la condición de reposo.

En la condición de reposo nuestros resultados arrojaron que el grupo de bajo RA presentó mayor potencia ( $t=1.75$ ,  $p < 0.05$ ) en frecuencias lentas, de 5.47 a 7.03 Hz (actividad theta) sobre regiones temporales izquierdas. En relación con estos resultados, en una investigación de Gevins et. al., (1997) se encontró que la actividad theta, principalmente en el rango de frecuencias de 5 a 7 Hz se presentó un aumento espectral en la región frontal media al aumentar la dificultad de una

tarea de MT. En otras investigaciones, se ha encontrado que el incremento de esta onda cerebral parece estar relacionada con algunos trastornos como lo es el trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH). En un estudio realizado en varones adultos diagnosticados con este trastorno se evidencio un incremento de la potencia en ondas lentas (delta y theta) durante la condición de reposo (Clarke, Barry, Heaven, McCarthy, Selikowitz y Byrne, 2008). Siguiendo esta línea, en una investigación realizada en estudiantes universitarios con diagnóstico de TDAH y estudiantes sanos, en la condición de reposo, se encontraron diferencias entre grupos en ondas lentas y rápidas, siendo los estudiantes con TDAH quienes presentaron mayor potencia absoluta (PA) en ondas theta sobre regiones anteriores y laterales en comparación con el grupo control (Woltering et al., 2012). En esta misma condición encontramos que en el rango de frecuencias 17.19 a 17.97 Hz (actividad alfa) se presentó menor potencia para el grupo de bajo que para el de alto RA sobre regiones occipitales izquierdas. Estos resultados concuerdan con los nuestros respecto al incremento de la potencia en ondas lentas en condiciones de reposo, también son similares en cuanto a la localización de las regiones cerebrales activadas, las cuales corresponden a regiones frontales y temporales. De forma general, se sabe que las ondas theta se presentan principalmente en bebés y en adultos dormidos, sin embargo, estas pueden presentar oscilaciones e incrementos al momento de iniciar con cada ensayo de la tarea (Raghavachari, et al., 2001). De acuerdo a estudios previos, se ha demostrado que la relación de las ondas theta y alfa se han utilizado como biomarcadores para la maduración cerebral en regiones centrales y posteriores (Jäncke y Alahmadi, 2016). Al encontrar semejanzas entre la activación eléctrica cerebral de adultos y estudiantes con diagnóstico de TDAH y los estudiantes de bajo RA en la condición de reposo, se pudiera aludir a una posible ralentización en la actividad eléctrica cerebral para el grupo de bajo RA, además de un escaso procesamiento de información visual, pues el lóbulo occipital es el principal encargado del procesamiento visual (Portellano, 2005). También, se pudiera aludir a una posible capacidad de atención e inhibición inferior en comparación con el grupo de alto RA.

Los resultados del análisis post-hoc de las diferencias de los grupos de alto y bajo RA en la condición de atención arrojaron que existe mayor potencia en la onda theta (de 5.47 a 7.03 Hz) sobre regiones temporales izquierdas en el grupo de bajo RA en comparación con el de alto RA. También se encontró menor potencia en ondas alfa (10.94 a 12.50 Hz) en regiones frontales derechas y occipitales izquierdas para el grupo de bajo RA que en el grupo con el de alto RA. En

comparación con hallazgos anteriores se ha encontrado que la actividad en la onda alfa existe menor potencia cuando se requiere de una respuesta a la atención anticipada (Klimesch, 2012), lo que pudiera significar que el grupo de alto RA no anticipa previamente el estímulo atencional para comenzar con la realización de la tarea y ejecutar una respuesta, de igual manera, estos resultados podrían indicar que el grupo de bajo RA requiere de mayor cantidad de recursos atencionales para poder realizar correctamente la tarea de MT.

De la misma manera, en la onda alfa (de 12.50 a 14.06 Hz) encontramos un aumento de la potencia en el grupo de bajo RA sobre regiones temporales y parietales derechas. En esta misma línea, en estudios que se han realizado con estimulación magnética transcraneal repetitiva (rTMS) se ha encontrado que por medio de la estimulación del lóbulo parietal se puede mejorar el proceso de retención de la MT, debido a que este desempeña un papel importante en el almacenamiento de la memoria (Li, Jin, Wan, Qui, Liu, Yin, 2017). En contra posición a nuestros resultados, también se ha encontrado que, los aumentos en la potencia de la onda alfa en regiones parietales derechas, corresponden a la desactivación de la unión temporo-parietal derecha, de modo que, se evidencia una inhibición de la red de atención, la cual se encarga de la detección de eventos sensoriales (Benedek, Schickel, Jauk, Fink y Neubauer, 2014). Por consiguiente, nuestros resultados refieren que, tanto los estudiantes de bajo como de alto RA, activan adecuadamente las regiones cerebrales involucradas en el proceso de atención. Sin embargo, los alumnos de alto RA, realizan un mejor proceso de activación atencional, al activar la unión temporal y parietal derecha. Pues, el lóbulo parietal, es el responsable de que el material presentado durante pocos segundos sea codificado, y la zona parietotemporal izquierda interviene en la adquisición del material verbal. De igual manera, se ha encontrado que la capacidad de MT modera el desarrollo del conocimiento de búsqueda de información (Baars, Nije, Tonnaer y Jolles, 2015).

Con respecto a las ondas beta, en el grupo de alto RA, se encontró un aumento la potencia. Así mismo, los resultados de una investigación realizada en niños con trastornos del aprendizaje no especificados, en la cual, se estudió la actividad eléctrica cerebral para determinar si existían patrones electrofisiológicos específicos, se encontró que el grupo con menores dificultades en el aprendizaje tuvo mayor PA en ondas beta (de 21 a 28 Hz) en comparación con los niños que muestran dificultad para aprender (Roca et al, 2017).

De la misma manera, en una investigación realizada en adultos jóvenes diagnosticados con TDAH, los resultados arrojaron que se presentó menos potencia beta durante una condición de reposo con los ojos cerrados (Clarke et al., 2008). Enmarcando nuestros resultados con los de las investigaciones previas, se considera que el grupo de bajo RA, presencia deficiencias y dificultades para la ejecución de la tarea de MT, al presentar menor potencia en ondas rápidas, como beta, las cuales están relacionadas con los procesos cognitivos superiores. Así por ejemplo, de acuerdo con Scholz, Schneider y Rose (2017), las fluctuaciones continuas en el rango de frecuencias beta y theta pueden estar relacionadas con la capacidad de codificar un estímulo.

En las diferencias en la condición de memoria entre ambos grupos, encontramos que en ondas delta (de 0.78 a 3.9 Hz) y theta (6.25 Hz) se presentó un aumento de la potencia en regiones frontales, centrales y occipitales izquierdas y sobre regiones centrales derechas y temporales bilaterales, para el grupo de bajo RA en comparación con el grupo de alto RA. Nuestros resultados son similares a los encontrados en la investigación de Jensen y Tesche (2002), en la cual, los participantes realizaron un tarea de MT verbal del paradigma de Sternberg y retuvieron mentalmente una lista de 1, 3,5 o 7 dígitos. Los resultados de tal tarea, mostraron que las oscilaciones cerebrales en la banda theta se involucran en el mantenimiento activo y en la recuperación de las representaciones de la MT. De igual manera, se encontró que durante el periodo de retención la potencia aumentó en la banda theta sobre regiones frontales y que la banda theta aumentó de acuerdo a la cantidad de dígitos a retener en la MT. También, se ha encontrado que la onda theta tuvo menor potencia en regiones anteriores en comparación con regiones posteriores, predominando en el hemisferio izquierdo durante la ejecución de una tarea de MT (Pavlov y Kotchoubey, 2017).

Con base en estos hallazgos, se determina que el grupo de bajo RA activa un mayor número de estructuras cerebrales involucradas en el mantenimiento de la MT en comparación con el grupo de alto RA. Pues, se sabe que el lóbulo temporal interviene mayormente en los procesos de memoria sensorial a muy corto plazo (Portellano, 2005). En esta misma condición nuestros resultados mostraron que el grupo de bajo RA presenta una disminución de la potencia en la onda alfa (10.16 a 13.28 Hz) sobre regiones frontales bilaterales y regiones temporales y occipitales izquierdas. Rescatando que la modulación de la actividad alfa puede tener una función directa en el mantenimiento de la memoria de trabajo. La cual se relaciona con el control

cognitivo y la regulación de tareas metacognitivas. Como menciona Pintrich (2004), el control y la regulación deben relacionarse con el monitoreo cognitivo y facilitar el progreso hacia una meta determinada en el ámbito académico.

Con respecto a sugerencias para mejorar el estudio, la muestra final estuvo compuesta solo por el 45% de la muestra total, debido a que los participantes fueron eliminados por los criterios de eliminación, por lo que la muestra final del presente estudio fue muy reducida, por lo que se sugiere muestras significativamente mayores para futuros estudios. Así mismo, a pesar de haber encontrado diferencias significativas en el promedio entre los grupos, puede ser que no sean tan distintos entre sí, puesto que, fue difícil encontrar alumnos con alto rendimiento académico. Se sugiere que para futuros estudios se consideren alumnos con extremo rendimiento académico bajo y alumnos con promedio académico mucho más alto (90 o 100).

Otra de las cuestiones a discutir es que el promedio del total de respuestas correctas fue muy elevado en ambos grupos, lo que puede deberse a un efecto techo, debido al nivel de complicación de la tarea, se plantea que se utilice una tarea de una complejidad superior como lo puede ser la tarea n-back, (Gevins y Cuttillo, 1993), la cual consiste en pedir a los sujetos que monitoreen una serie de estímulos verbales o no verbales y respondan cuando se presente un estímulo que sea el mismo que el que se había presentado previamente. En estas tareas la letra n es un número especificado previamente, usualmente se utilizan 1, 2 o 3 (Owen et al., 2015).

## 5 Conclusión

Esta investigación se enfocó a encontrar diferencias biológicas entre dos grupos de distinto rendimiento académico con la finalidad de encontrar correlatos electrofisiológicos entre el rendimiento académico y la memoria de trabajo en estudiantes universitarios. Puesto que, la calidad del rendimiento académico de los estudiantes sigue siendo una línea importante para los educadores (Duggal y Mehta, 2015). Con la realización de este proyecto de investigación se pretende realizar un puente que sirva de enlace entre las neurociencias y la educación, el cual puede permitir la creación de sistemas fundamentados y orientados hacia la resolución de problemáticas relacionadas con los aspectos del rendimiento académico. Además, se da paso a que se realicen futuras investigaciones y encontrar marcadores biológicos que puedan predecir las tendencias de los estudiantes sobre el aprovechamiento escolar.

Para concluir, en nuestra investigación encontramos que, en la prueba de MT el grupo de bajo RA tuvo mayor número de respuestas correctas en comparación con el de bajo RA, sin embargo estos resultados pueden deberse a un posible efecto techo. En las tres condiciones: reposo, atención y memoria existe mayor potencia en ondas delta y theta generalizado, principalmente en el grupo de bajo RA, lo que pudiera implicar un desfase o ralentización de la actividad eléctrica cerebral de este grupo que puede explicar su bajo RA. En la condición de memoria las regiones cerebrales asociadas a la tarea fueron las frontales izquierdas en el grupo de alto RA. De acuerdo con el modelo de Baddeley de MT el buffer fonológico se activa en la CPFDL izquierda. Lo que puede significar que el grupo de alto RA posee redes neuronales que se asocian las regiones relacionadas con la MT, en comparación con el grupo de bajo RA, quien presenta una topografía muy distinta al grupo de alto RA que involucra un mayor número de regiones cerebrales en la condición de memoria y presenta principalmente ondas delta y theta.

A pesar de que el grupo de bajo RA obtuvo un mejor rendimiento conductual en la tarea de MT, el grupo de alto RA activa correctamente las estructuras cerebrales involucradas con la memoria de trabajo. Pues el grupo de bajo activa mayores estructuras cerebrales y sobre todo en ondas lentas, las cuales están relacionadas con procesos de relajación o poco uso de los procesos mentales/cognitivos superiores.

La trascendencia de esta investigación radica en generar e implementar estrategias orientadas a la

mejora del rendimiento académico y por consiguiente a aumentar el rendimiento académico de los estudiantes universitarios. Con un plan de acción establecido correctamente se pudiera prevenir el bajo rendimiento académico, causando un decremento en el total de materias reprobadas, así mismo evitar a la deserción a nivel licenciatura. Se propone la planeación, diseño y elaboración de cursos, talleres o manuales que estimulen la MT desde la etapa básica hasta la etapa terminal y contribuir así a mejorar el RA y por consiguiente brindar mejores herramientas a los estudiantes una vez que concluyan la licenciatura.

## **6 Recomendaciones**

Para futuras investigaciones relacionadas con el presente tema de investigación, se sugiere que la muestra final este conformada por un mayor número de estudiantes, tanto de bajo como de alto rendimiento académico. Así mismo, que dichos estudiantes presenten extremadamente bajo o alto RA con la finalidad de poder estudiar mejor las diferencias entre ambos grupos.

Además, se propone utilizar algunas pruebas de lápiz papel para medir las funciones ejecutivas de manera integral. Se pueden agregar pruebas como la de Stroop y/o tarjetas de Wisconsin. También sería interesante incluir una prueba que evalué los hábitos de estudio de los estudiantes, como lo es el Inventario de Hábitos de Estudios (IHE) u otras variables importantes como la autoeficacia.

## 7 Referencias

- Aguirre, D., Otero, G, y Ferreira, A. (2007). Relationship of working memory and EEG to academic performance: A study among high school students. *International Journal of Neuroscience* 117, 869-882.
- Akiyama, M., Tero, A., Kawasaki, M., Nishiura, Y, y Yamaguchi, Y. (2017). Theta-alpha EEG phase distributions in the frontal area for dissociation of visual and auditory working memory. *Scientific Reports*. DOI: 10.1038/srep42776
- Alcaraz, V., y Bouzas, A. (1998). Las aportaciones a la psicología. La perspectiva de la investigación. México: Universidad Antropológica de Guadalajara. Recuperado de <https://books.google.com.mx/books?id=52u6VW210cC&pg=PA182&dq=análisis+cuantitativo+del+eeg&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiKiOrNu8HWAhVO4GMKHSgJBIDIQ6wEILjAB#v=onepage&q=análisis%20cuantitativo%20del%20eeg&f=false>
- Aminoff, M. (1992). Electroencefalography: general principles and clinical application. En Aminoff, . (Ed.), *Electrodiagnosis in Clinical Neurology*, (pp.41-63). Philadelphia: Churchill-Livingstone.
- Anderson, V., Jacobs, R., y Anderson, P. (2010). *Executive functions and the Frontal Lobes: A Lifespan Perspectiv*. New York: Taylor y Francis Group
- Artunduga, M. (2008). Variables que influyen en el rendimiento académico en la universidad, junio 2008. Recuperado de <http://www.ori.soa.efn.uncor.edu/wpcontent/uploads/2011/05/Rendimiento-Acad%C3%A9mico-Universitario.pdf>
- Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (2007). *Sistema de indicadores para el diagnóstico y seguimiento de la educación superior en México*. México, ANUIES.
- Baars, M., Nije, M., Tonnaer, G. y Jolles, J. (2015). Self-report measures of executive functioning are a determinant of academic performance in first-year students at a university of applied sciences, *Frontiers in Psychology*, 6, //dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01131.
- Bacon, D., y Bean, B. (2006). GPA in Research Studies: An Invaluable but Neglected Opportunity. *Journal of Marketing Education*, 28 (1), 35-42.
- Baddeley, A (2002). Fractionating the central executive. In D. T. Stuss y R. T. Knight (Eds.),

- Principles of frontal lobe function* (pp. 246-260). New York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A, 5-28.
- Baddeley, A. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829-839.
- Baddeley, A. (1998). The central executive: A concept and some misconceptions. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 4(5), 523-526.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-423.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1990). *Human memory: Theory and practice*. Hove, UK: Erlbaum.
- Baddeley, A. D. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A, 5-28.
- Baddeley, A. D., y Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *Psychology of learning and motivation* (Vol 8). New York: Academic Press.
- Barcelo Martínez, E., Lewis, Harb S. y Moreno Torres, M. (2006). Funciones ejecutivas en estudiantes universitarios que presentan bajo y alto rendimiento académico. *Psicología desde el Caribe*, 18, 109-138.
- Benedeck, M., Schickel, R., Jauk, E., Fink, A., y Neubauer, A. (2014). Alpha power increases in right parietal cortex reflects focused internal attention. *Neuropsychologia*, 56, 393-400.
- Biggs, J. (1988). Assessing student approaches to learning. *Australian Psychologist*, 23, 197-206.
- Boekaerts, M., y Corno, L. (2005). Self-regulation in the classroom: A perspective on assessment and intervention. *Applied Psychology*, 54, 199-231. doi:10.1111/j.1464-0597.2005.00205.x
- Brener, R. (1940). An experimental investigation of memory span. *Journal of Experimental Psychology*, 26(5), 467-482. <http://dx.doi.org/10.1037/h0061096>
- Celorio, R. (1999). Factores de influencia en el rendimiento educativo. *Revista de Ciencias de la Educación*, 177, 1-33.
- Chamarro, T. (2006). Creativity versus conscientiousness: Which is a better predictor of student performance?. *Appl. Cognit. Psychol*, 20, 521-531
- Chamorro, P. (2006). Creativity versus conscientiousness: which is a better predictor of student performance?. *Applied cognitive psychology*, 20, 521-531. DOI: 10.1002/acp.1196

- Chapi, L. (2016). Desarrollo histórico del estudio neuropsicológico de la memoria. *Revista de psicología*, 18 (1), 87-100.
- Clarke, A., Barry, R., Heaven, P., McCarthy, R., Selikowitz, M., y Byrne, M. (2008). EEG in adults with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *International Journal of Psychophysiology*, 70, 176-183.
- Cooper, R., Winter, A., Crow, H., y Grey, W. (1965). Comparison of subcortical, cortical and scalp activity using chronically indwelling electrodes in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 18(3), 217-228.
- Corbin, L., y Marquer, J. (2013). Is Sternberg's Memory Scanning Task Really a Short-Term Memory Task?. *Swiss Journal of Psychology*. 72 (4), 181-196.
- Cortés, A., y Palomar, J. (2007). The Process of Admission as a Means of Predicting Academic Performance in Higher Education. *Universitas Psychologica*, 7 (1), 199-215.
- Cowan, N., Sauls, J. S., Nugent, L. D., y Elliott, E. M. (1999). The microanalysis of memory span and its development in childhood. *International Journal of Psychology*, 34, 353-35
- Credé, M., y Phillips, L. (2011). A meta-analytic review of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire. *Learning and individual differences*, doi:10.1016/j.lindif.2011.03.002
- Da Costa L., (2013). *Self-Efficacy, Metacognitive Awareness, Working Memory, and Academic Performance in a Research Methods Course* (Master of Arts in Research Psychology). University of Witwatersrand, Johannesburg,
- Dai, H., De Souza, J., Lim, J., Ho, P., Chen, Y., Li, J., Thakor, N., Bezerianos, A., y Sun, Y. (2017). EEG Cortical Connectivity Analysis of Working Memory Reveals Topological Reorganization in Theta and Alpha Bands, *Front Hum Neuroscience*, 11, doi: 10.3389/fnhum.2017.00237.
- Daneman, M., y Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 450-466.
- Dezcallar, T., Clariana, M., Badia, M., Gotzens, C., y Cladella R. (2013). Conscientiousness and laboriosness as academic achievement predictors in a Spanish students sample. *Revista Complutense de Educacion*, 26(2), 367-384.

- Duggal, M., y Mehta, P. (2015). Antecedents to Academic Performance of College Students: An Empirical Investigation. *Paradigm*, 19 (2), 197-211.
- Dunst, B., Benedek, M., Jauk, E., Bergner, S., Koschuting, K., Sommer, M., Ischebeck, A., Spinath, B., Arendasy, M., Bühner, M., Freudenthaler, H., y Neubauer, A. (2014). Neural efficiency as a function of task demands. *Intelligence*, 42, 22-30.  
<https://doi.org/10.1016/j.intell.2013.09.005>
- Everson, H. T. (August 2002). Innovation and change in the SAT: A design framework for future college admission tests. Recuperado de [http://www.collegeboard.com/prod\\_downloads/about/association](http://www.collegeboard.com/prod_downloads/about/association)
- Fernandez- Torre, J. (2002). Bases tecnológicas de los registros electroencefalograficos. . En Gil-Nagel, A., Parra, J., Iriarte, J., y Kanner, A. (2002). *Manual de electroencefalografía*. España: McGrawHill.
- Flores, M., Rivera, H y Sanchez, F. (2016). Bajo rendimiento académico: más allá de los factores sociopsicopedagógicos. *Revista digital Internacional de Psicología y Ciencia Social*. 2 (1). <http://dx.doi.org/10.22402/j.rdi.pycs.unam.2.1.2016.60.95-104>
- Fuster, J. (1973). Unit activity in prefrontal cortex during delayed-response performance: neuroanatomical correlates of transient memory. *Journal of Neurophysiology*, 36, 61- 78
- Galleguillos, P., y Olmeda, E. (2017). Autoeficacia académica y rendimiento escolar: un estudio metodológico y correlacional en escolares. *ReidoCrea*, 6, 156-169.
- Garbanzo, V. (2007). Factores asociados al rendimiento académico en estudiantes universitarios, una reflexión desde la calidad de la educación superior pública. *Educación*, 31 (1), 43-63
- Gazzaley, D., Rissman, J., y D'Esposito, M. (2004). Functional connectivity during working memory maintenance. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 4 (4), 580-599.
- Gevins, A, Zeitlin GM, Doyle JC, Schaffer RE, Callaway E (1979a) EEG patterns during 'cognitive' tasks. II. Analysis of controlled tasks. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 47:704-710.
- Gevins, A., Smith, M., McEvoy, L., y Yu, D. (1997). High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: Effects of task difficulty, type of processing, and practice. *Cerebral Cortex*, 7, 374-385.
- Gevins, A., y Cuttillo, B. (1993). Neuroelectric evidence for distributed processing in human

- working memory. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 87, 128-143.
- Godoy, J., y Santín, J. (2002). Electroencefalograma normal durante la vigilia. . En Gil-Nagel, A., Parra, J., Iriarte, J., y Kanner, A. (2002). *Manual de electroencefalografía*. España: McGrawHill
- Harmony, T., Marosi, E., Fernandez, T., Bernal, J., y Silva, J. (1994). EEG coherences in patients with Brain lesions. *International Journals Neuroscience*, 74, 203-226.
- Harmony, T., y Fernandez, B. (1995). Mapeo del EEG en el estudio de los pacientes con lesiones expansivas intracraneales. *Archivos Clinica Neurologia Queretaro*, 4, 20-24.
- Hartlage, L., y Green, J. (1973). The EEG as a predictor of intellectual and academic performance. *Journal of Learning Disabilities*, 6 (4), 42-45.
- Heinström, J. (2002). Fast surfers, broad scanners and deep divers - personality and information seeking behavior. (tesis doctoral ). Åbo: Åbo Akademi University Press. Consultado.
- Henson, R., Burgess, N., y Frith, C. (2000). Recoding, storage, rehearsal and grouping in verbal short-term memory: an fMRI study. *Neuropsychologia*, 38(4), 426-440.
- Hernández, A. (2016). Diagnosis of the academic performance of students of an undergraduate school in Mexico. *Revista Complutense de Educación*, 27, (3), 1369-1388.
- Ishihari T, Yoshii N (1972) Multivariate analytic study of EEG and mental activity in juvenile delinquents. *Electroenceph Clin Neurophysiol*, 33:71–80.
- Jäncke, L., y Alahmadi, N. (2016). Resting state EEG in children with learning disabilities: An independent component analysis approach. *Clinical EEG and Neuroscience*, 47 (1), 24-36
- Jensen, O., y Tesche, C. (2002). Frontal theta activity in humans increases with memory load in a working memory task. *European Journal Neuroscience*, 15(8), DOI: 10.1046/j.1460-9568.2002.01975.x
- John, E., Prichep, L., Friedman, J., y Easton, P. (1998). Neurometrics: computed-assited differential diagnosis of brain disfunctions. *Science*, 239(4836), 162-169.
- Kang, J., Ojah, A., Lee, G., y Lee, M. (2015). Difference in brain activation patterns of individuals whit high and low intelligence in linguistic and visuo-spatial task: An EEG study. *Intelligence*, 61, 47-55.
- Kang, J., Ojha, A., Lee G., y Lee, M. (2017). Difference in Brain activation patterns of individuals

with high and low intelligence in linguistic and visuo-spatial tasks: An EEG study. *Elsevier, Intelligence*, 61, 47-55.

Kavcic, V., Zalar, B., y Giordani, B. (2016). The relationship between baseline EEGT spectra power and memory performance in older African Americans endorsing cognitive concerns in a community setting. *International Journal of Psychophysiology*, 109, 116-123.

Klimesch, W. (2012). Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in Cognitive Sciences*, 16 (12), 606-117.

Kuncel, N., Hezlett, S., y Ones, D. (2004). Academic performance, career potential, creativity, and job performance: can one construct predict them all? *Journal of Personality and Social Psychology*, 86 (1), 148-161.

Kundo, B., Chang, Y., Postle, B y Van, B. (2015). Context-specific differences in fronto-parieto-occipital effective connectivity during short-term memory maintenance. *Neuroimage*, 114, 320-327.

Larrain, J., Zamarano, F., Soto, P., Carrasco, X., Herrera, C., Daiber, F., Aboitiz, F., y Billeke, P. (2017). Theta and Alpha Oscillation Impairments in Autistic Spectrum Disorder Reflect Working Memory Deficit. *Scientific Reports*. 7: 14328 DOI:10.1038/s41598-017-14744-8

Latzman, R., Elkovitch, N., Young, J., y Clark, L. (2010). The contribution of executive functioning to academic achievement among male adolescents. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 32(5), 455-462.

Lenartowicz, A., Delorme, A., Walshaw, P., Cho, A., Bilder, R., McGough, J., McCracken, J., Makeig, S y Loo, S. (2014). Electroencephalography Correlates of Spatial Working Memory Deficits in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: Vigilance, Encoding, and Maintenance. *The journals Neuroscience*, 24(4), 1171-1182.

Liu, Z., Glizer, D., Tannock, R y Woltering, S. (2015). EEG alpha power during maintenance of information in working memory in adults with ADHD and plasticity. *Clinical Neurophysiology*, 127, 1307-1320.

Longo, D., Fauci, A., Kasper, D., Hauser, S., Jameson, L., y Loscalzo, J. (2012). *Harrison's manual of medicine* (18 ed.). New York: McGraw-Hill Education

López, M. (2013). Academic performance: relationship with working memory. *Actualidades investigativas en educación*. 13(3), 1-19. ISSN 1409-4703

- Marshall, L., Mölle, M., Siebner, H., y Born, J. (2005). Bifrontal transcranial direct current stimulation slow reaction time in a working memory task. *BioMedCentral Neuroscience*, 6(23). doi:10.1186/1471-2202-6-23. Recuperado de <http://www.biomedcentral.com/1471-2202/6/23>
- Martínez, O. (1997). *Los adolescentes ante el estudio, causas y consecuencias del rendimiento académico*. España: Fundamentos
- McCrae, R., y Costa, P. (2008). La teoría de cinco factores de la personalidad. En OP John, RW Robins, y LA Pervin (Eds.), *Handbook of personality: Theory and research* (pp. 159-181). Nueva York: Guilford Press.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2015). Mejores políticas para una vida mejor. Recuperado de <http://www.oecd.org/centrodemexico/laocde/>
- Miller, G. A., Galanter, E., y Pribram, K. (1960). *Plans and the structure of behavior*. New York: Holt, Reinhart y Winston.
- Miyake, A. y Friedman, N. (2012). The Nature and Organization of Individual Differences in Executive Functions: Four General Conclusions. *Revista Association for psychological science*, 21 (1), 8-14
- Miyake, A., Friedman, N., Emerson, M., Witzki, A., Howerter, A., y Wager, T. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49–100.
- Miyake, A., Shah, P., 1999. Toward unified theories of working memory: emerging general consensus, unresolved theoretical issues, and future research directions. In: Miyake, A., Shah, P. (Eds.), *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*. Cambridge University Press, UK, pp. 442–481.
- Mohsen, S. (2016). *Design and Implementation of Electroencephalogram System* (Master of Science in Electrical Engineering). Ain Shams Univerisy, Faculty of Engineering, Cairo.
- Navarro, R. (2003). El rendimiento académico: concepto, investigación y desarrollo. *Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Educación*, 1 (2). Recuperado de <https://revistas.uam.es/index.php/reice/article/viewFile/5354/5793>
- Nissim, N., O’ Shea, A., Bryant, V., Porges, C., Cohen, R., y Woods, A. (2017). Frontal structural neural correlates of working memory performance in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8. doi: 10.3389/fnagi.2016.00328

- Nissim, N., O'Shea, A., Bryant, V., Porges, E., Cohen, R., y Woods, A. (2017). Frontal structural neural correlates of working memory performance in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8:328. doi: 10.3389/fnagi.2016.00328
- Olejniczak, P. (2006). Neurophysiologic basis of EEG. *Journal of Clinical Neurophysiol*, 23(3), DOI: 10.1097/01.wnp.0000220079.61973.6c
- Owen, A., Laird, A., y Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 25, 46-59.
- Parra, J., y Lopes, Da Silva. (2002). Bases neurofisiológicas de la electroencefalografía y magnetoencefalografía. En Gil-Nagel, A., Parra, J., Iriarte, J., y Kanner, A. (2002). *Manual de electroencefalografía*. España: McGrawHill.
- Pavlov, Y y Kotchoubey, B. (2017). EEG correlates of working memory performance in females. *BioMed Central*. 18(26). DOI: 10.1186/s12868-017-0344-5
- Phillips, W. A. (1974). On the distinction between sensory storage and short-term visual memory. *Perception & Psychophysics*, 16, 283-290. Recuperado de [http://www.scholarpedia.org/article/Visual\\_short\\_term\\_memory](http://www.scholarpedia.org/article/Visual_short_term_memory)
- Pinal, D., Zurrón, M., y Díaz, F. (2015). Age-related changes in Brain activity are specific for high order cognitive processes during successful encoding of information in working memory. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 7:75. doi: 10.3389/fnagi.2015.00075
- Pintrich, P. (2004). A Conceptual Framework for Assessing Motivation and Self-Regulated Learning in College Students. *Educational Psychology Review*, 16 ( 4).
- Presidencia de la República (2013). Plan Nacional de Desarrollo 2013 – 2018. Recuperado de [http://www.snieg.mx/contenidos/espanol/normatividad/MarcoJuridico/PND\\_2013-2018.pdf](http://www.snieg.mx/contenidos/espanol/normatividad/MarcoJuridico/PND_2013-2018.pdf)
- Pluck, G., Ruales, C., Paucar E., Andrade, M., y Trueba, A. (2016). Separate contributions of - general intelligence and right prefrontal neurocognitive functions to academic achievement at university level. *Trends in Neuroscience and Education*, 5(4), 178-185.
- Porapat, A. (2009). A Meta-Analysis of the Five-Factor Model of Personality and Academic Performance, *Psychological Bulletin*, 135 (2), 322-338.
- Porcel, E., Dapozo, G., y López, M. (2010). Predicción del rendimiento académico de alumnos de primer año de la FACENA (UNNE) en función de su caracterización socioeducativa. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 12 (2).

- Portellano, J. (2005). *Introducción a la neuropsicología*. España: McGraw-Hill Interamericana.
- Prat, C., Yamasaki, B., Kluender, R y Stocco A. (2016). Resting-state qEEG predicts rate of second language learning in adults. *Brain and Lenguaje*. 44-45
- Programa De Educación DE Baja California 2015-2019. Gobierno del Estado.
- Raghavachari, S., Kahana, M., Rizzuto, D., Caplan, J., Kirschen, M., Bourgeois, B., Madsen, J., y Lisman, J. (2001). Gating of Human Theta Oscillations by a Working Memory Tasks. *The Journal of Neuroscience*. 21(9), 3175-3183.
- Rains, D. (2002). Principios de neuropsicología humana. India: McGraw-Hill Interamericana.
- Real Academia Española. (2016). *Rendimiento*. Diccionario de la real academia Española. Recuperado de <http://dle.rae.es/?id=VwxnN6O>
- Repetto, T. (1984). Inteligencia, personalidad y rendimiento académico: un análisis de correlación canónica: *Revista Española de Pedagogía*, 42 (166), 501-539
- Repovs, G., y Baddeley, A . (2006). The multi-component model of working memory: explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience* 139 (2006) 5–21
- Ricardo, G. (2004). Aportes del electroencefalograma convencional y el análisis de frecuencias para el estudio del trastorno por déficit de atención. Primera parte. *Salud Mental*, 27. 25-34.
- Ricardo, G., Fernandez, A., Harmony, T., y Ballesteros, A. (2002). Importancia de la sustracción de un factor de escala global de las potencias absolutas del electroencefalograma para la ubicación precisa de la actividad electroencefalografica anormal. *Salud mental*, 25, 25-34.
- Richardson, M., Charles, A. y Rod, B. (2012). Psychological Correlates of University Students' Academic Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Psychological Bulletin*, 138 (2), 353-387
- Roca, M., Fernandez, T., Bosch, J., Harmony, T., Ricardo, J. (2017). Electroencephalographic characterization of subgroups of children with learning disorders. *PLoS ONE*, 12(7): e0179556. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179556>
- Rommel, A., James, S., McLoughlin, G., Brandeis, D., Banaschewski, T., y Kuntsi, J. (2017). Altered EEG spectral power during rest and cognitive performance: a comparasion of preterm-born adolescents to adolescents whith ADHD. *European Child & Adolescent Psychiatry*. doi:10.1007/s00787-017-1010-2.
- Rosman, T., Mayer, A., y Krampen, G. (2016). A longitudinal study on information-seeking

- knowledge in psychology undergraduates: Exploring the role of information literacy instruction and working memory capacity. *Computers & Education*, 96, 94-108
- Scholz, S., Schneider, S., y Rose, M. (2017). Differential effects of ongoing EEG beta and theta power on memory formation. *PLOS ONE*, 12(2): e0171913.  
doi:10.1371/journal.pone.0171913
- Schneider, W., y Niklas, F. (2017). Intelligence and verbal short-term memory/working memory: their interrelationships from childhood to academic achievement. *Journal of intelligence*, 5(26), doi:10.3390/jintelligence5020026
- Shallice, T. (1988): *From neuropsychology to mental structure*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Silva, J. (2011). *Métodos en neurociencias cognoscitivas*. México: El Manual Moderno.
- Sternberg, S. (1966). High-Speed Scanning in Human Memory. *Science, New Series*. 153 (3736), 652-654
- Struyven, K., Dochy, F. y Janssens, S. (2002). “Students’ perceptions about assessment in higher education: a review”. Joint Northumbria / Earli SIG Assessment and Evaluation Conference: Learning communities and assessment cultures, University of Northumbria at Newcastle, August 28 – 30,
- Stuss, D., y Benson, D. (1986). *The Frontal Lobes*. New York: Raven Press.
- Stuss, R.T., Alexander, M.P., Floden, D., Binns, M.A., Levine, B., McIntosh, A.R., Rajah, N., Hevenor, S.J., 2002. Fractionation and localization of distinct frontal lobe processes: evidence from focal lesions in humans. In: Stuss, D.T., Knight, R.T. (Eds.), *Principles of Frontal Lobe Function*. Oxford University Press, New York, pp. 392–407.
- Swanson, H. L., y Alloway, T. P. (2012). Working memory, learning, and academic achievement. In K. R. Harris, S. Graham, T. C. Urdan, McCormick Christine B., G. M. Sinatra, y J. Sweller (Eds.), *APA educational psychology handbook*, Vol 1: Theories, constructs, and critical issues (1st ed., pp. 327–366). Washington, DC: American Psychological Association
- Swanson, H. L., y Alloway, T. P. (2012). Working memory, learning, and academic achievement. In K. R. Harris, S. Graham, T. C. Urdan, McCormick Christine B., G. M. Sinatra, y J. Sweller (Eds.), *APA educational psychology handbook*, Vol 1: Theories, constructs, and critical issues (1st ed., pp. 327–366). Washington, DC: American Psychological Association.
- Tariq, S., y Noor, S. (2012). Impact of working memory on academic achievement of university

- science students in Punjab, Pakistan. *Journal of Education and Practice*, 3 (2), 72-77.
- Titz, C y Karbach, J. (2014). Working memory and executive functions: effects of training on academic achievement. *Psychological Research*, 78 (6), 852-68. doi: 10.1007/s00426-013-0537-1.
- Tournon, J. (1984). *Factores del rendimiento académico en la universidad*. España: Ediciones Universidad de Navarra, S.A.
- Vergara, M. (2011). *Funciones ejecutivas y desempeño académico en estudiantes de primer año psicología de la corporación universitaria minuto de dios, en Bello Antioquia*. (Maestría en neuropsicología), Medellín.
- Watanabe, Y., y Funahashi, S. (2012). Thalamic mediodorsal nucleus and working memory. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 36, 134-142.
- Westbrook, G. (2000). Seizures and Epilepsy. En: Kandel, J., y Jessell, T. *Principles of Neural Science* (pp.910-935). New York: Mc Graw Hill.
- Wolterin, S., Jung, J., Liu, Z., y Tannock, R. (2012). Resting state EEG oscillatory power differences in ADHA college students and their peers. *Behavioral and brain functions*, 8 (60). DOI: 10.1186/1744-9081-8-60 · Source: PubMed
- Zapata, L., Reyes De los, C., Lewis, S., y Barceló, E. (2009). Working memory and academic achievement in freshmen students of a university in Barranquilla. *Psicología desde el Caribe*, 23, 66-82.
- Zhuz, F., Yeung, A., Poolton, J., Lee, T., Leung, G., y Masters, R. (2015). Cathodal Transcranial Direct Current Stimulation Over Left Dorsolateral Prefrontal Cortex Area Promotes Implicit Motor Learning in a Golf Putting Task. *Brain Stimulation*, 8 (4), 784-786.
- Zimmerman, B. (1994). Dimensions of academic self-regulation: A conceptual framework for education. En Schunk, D.H. y Zimmerman B.J. (eds), *Self-regulation of learning and performance: Issues and educational applications*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Jun-Su, K., Ojha, A., Lee, G., y Lee, M. (2017). Difference in brain activation patterns of individuals with high and low intelligence in linguistic and visuo-spatial tasks: An EEG study. *Intelligence*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.intell.2017.01.002>
- Zhong-Zu, L., Glizer, D., Tannock, R., y Woltering, S. (2016). EEG alpha power during

maintenance of information in working memory in adults with ADHD and its plasticity due to working memory training: A randomized controlled trial. *Clinical Neurophysiology*, 127, 1307-1320