



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

Departamento de Posgrados

**Correlación entre la actividad eléctrica cerebral y las tareas
de razonamiento abstracto por medio de
electroencefalografía cuantitativa a través de una interfaz
Brain Computer Interface (BCI) de 8 canales**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

Magister en Neuropsicología

A U T O R

DAVID MARCELO BERMEO BARROS

Directora: Gladys Alexandra Bueno Pacheco

Cuenca, Ecuador

2022

Dedicatoria

A mi madre, Ruth Teresa Barros Carmona por ser el pilar fundamental en mi vida.

A mi hermana Gabriela y mi sobrino Alejandro por hacerme sentir acompañado.

A mi querido abuelo José Eliseo Barros Alemán.

A mi querida abuela Sara de Jesús Carmona Pesantez, en su memoria (+).

-David Marcelo-

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios por permitirme expandir mis conocimientos, consolidar nuevos aprendizajes, adaptarme a nuevas experiencias y superar todos aquellos retos surgidos a lo largo de la maestría.

De manera muy especial agradezco a mi querida madre por su constante motivación y a su vez por brindarme valores y principios que han constituido sólidas bases para mi desenvolvimiento como persona y profesional.

Agradezco a Pedro, estudiante de Ing. Electrónica quien compartió su conocimiento y generó interés significativo en mi persona con respecto a su rama de estudio para poder cristalizar la presente investigación.

A los docentes del grupo de daño cerebral quienes me guiaron durante la investigación:

A la PhD. Alexandra Bueno por sus aportes y orientación en la investigación.

Al Dr. Fernando Estévez por sus conocimientos impartidos y valiosas sugerencias.

Al PhD. Daniel Aguirre por sus revisiones y oportunas recomendaciones.

Al Mgtr. Omar Alvarado por su confianza.

-David Marcelo-

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	I
Agradecimientos	II
Índice de contenidos.....	III
Resumen	VI
Abstract.....	VII
Introducción	1
Capitulo Uno.....	4
1. Razonamiento.....	4
1.1 Tipos de Razonamiento.....	4
1.2 Razonamiento Abstracto	5
1.2.1 Razonamiento Abstracto Desde el Enfoque de Jean Piaget.	6
1.3 Razonamiento Abstracto: Bases Cerebrales.....	7
1.3.1 El Rol de las Funciones Ejecutivas en el Razonamiento Abstracto.	10
Capitulo dos	12
2. Técnicas No Invasivas para el Mapeo Cerebral.....	12
2.1 El Mapeo Cerebral No Invasivo con Electroencefalografía	13
2.1.1 Equipo Open Brain Computer Interface para Electroencefalografía.	14
2.1.2 Estructura del Sistema Open Computer Interface.....	16
2.2 Ondas Cerebrales y el Registro con Electroencefalografía.....	16
2.2.1 Ondas Delta.	17
2.2.2 Ondas Theta.....	18
2.2.3 Ondas Alfa.	18
2.2.4 Ondas Beta.	18

2.2.5 Ondas Gamma	18
2.3 Tipos de ondas y sectores cerebrales implícitos en el Razonamiento	
Abstracto	19
2.4 Métodos para el procesamiento de señales EEG	21
Capitulo Tres	22
Metodología	22
3. Método	22
3.1 Objetivo General	22
3.2 Objetivos específicos	22
3.3 Criterios de inclusión.....	23
3.4 Criterios de exclusión.....	23
3.5 Hipótesis de la investigación:.....	23
3.6 Procedimiento	24
3.6.1 Entrevista semiestructurada para las variables sociodemográficas.....	24
3.6.2 Evaluación cognitiva Montreal (MoCA) para valorar el estado cognitivo	24
3.6.3 Paradigma de razonamiento abstracto.....	24
3.6.4 Registro y grabación de datos EEG.....	25
3.7 Adquisición, procesamiento de señales EEG y análisis estadístico.....	26
3.8 Ética de la investigación.....	31
Capitulo Cuatro	32
4. Resultados.....	32
4.1 Localización topográfica de zonas de activación cerebral en tareas semánticas ..	32
4.2 Localización topográfica de zonas de activación cerebral en tareas visuales.....	38
4.3 Rangos de frecuencia en tareas semánticas y visuales	44

4.4 Actividad eléctrica cerebral y áreas cerebrales implicadas en el razonamiento abstracto semántico y visual	48
5. Discusión	49
6. Conclusiones y trabajo futuro	59
7. Limitaciones del estudio	60
Referencias.....	61
Anexo 1: Consentimiento informado.....	79
Anexo 2: Modelo de entrevista semiestructurada para criterios de inclusión	80

Resumen

El uso de potenciales científicos y recursos tecnológicos en la neuropsicología han permitido alcanzar una mejor comprensión sobre aquellos procesos cognoscitivos que producen cambios en la actividad bioeléctrica cerebral. El presente estudio tuvo como objetivo, identificar la relación existente entre la actividad eléctrica cerebral y las tareas de razonamiento abstracto semántico y visual por medio de electroencefalografía (EEG) de 8 canales. Se realizó un estudio no experimental mixto cuantitativo y cualitativo de alcance inferencial en un grupo de 20 universitarios sanos seleccionados por conveniencia de la ciudad de Cuenca, Ecuador. De esta manera, se logró identificar que las tareas visuales mostraron activación sobre los lóbulos frontal, parietal y occipitales y en los lóbulos temporal, parietal y occipital en la resolución de tareas de razonamiento semántico. Con respecto a las frecuencias, las bandas Alfa, Beta y Gamma evidenciaron diferencias significativas mientras que las ondas Delta y Theta no se encontraron en los registros de los participantes del estudio.

Palabras clave: Electroencefalografía, EEG, razonamiento abstracto, visual, semántico.

Abstract

The use of scientific potentials and technological resources in neuropsychology has allowed to reach a better understanding of those cognitive processes that produce changes in brain bioelectrical activity. The aim of the present study was to identify the relationship between brainelectrical activity and semantic and visual abstract reasoning tasks by means of 8-channel electroencephalography (EEG). A non-experimental mixed quantitative and qualitative study of inferential scope was carried out in a group of 20 healthy university students selected by convenience from the city of Cuenca, Ecuador. In this way, it was possible to identify that visualtasks increase the potential as opposed to semantic tasks, that is, the higher the activity in frontal, parietal and occipital sectors in visual reasoning tasks, the lower the activity in temporal,parietal and occipital sectors in semantic reasoning tasks. Significant differences were found in the Alpha, Beta and Gamma frequency bands, while Delta and Theta waves showed no differences and were not found in the recordings.

Key words: Electroencephalography, EEG, abstract reasoning, visual, semantic.

Translated by:



Ps. Cl. David Marcelo Bermeo Barros



Introducción

El estudio de las funciones mentales con el uso de técnicas como la EEG, ha sido sin duda uno de los recursos clásicos de exploración para conocer cómo los distintos sectores corticales se manifiestan fisiológicamente, así como anatómicamente. La actividad bioeléctrica cortical ha sido uno de los indicadores más relevantes en sujetos sanos, así como en procesos patológicos del sistema nervioso central (Ramos-Argüelles, F et al., 2008). La actividad cortical puede ser relacionada con el correcto funcionamiento de las funciones cognoscitivas del individuo, además, la EEG ha sido ampliamente utilizada para conocer los mecanismos cerebrales subyacentes de la inteligencia humana y sin duda del razonamiento abstracto.

El razonamiento abstracto desde el punto de vista funcional representa la capacidad del ser humano para realizar vínculos u asociaciones entre distintos elementos, descubrir relaciones, así como la resolución de cuestiones lógicas y abstractas de forma flexible. Estos constructos mencionados intentan generar una explicación a las preguntas ¿por qué? y ¿cómo?, para así emitir respuestas ante situaciones o para su resolución (Jaramillo y Puga 2016). Es importante considerar que lo antes mencionado dependerá de las habilidades de planificación, comprensión, y de incontables características que conforman la inteligencia.

La capacidad para manejar simbólicamente problemas de forma abstracta se ha estudiado desde la antigüedad. La psicometría, por ejemplo, encontró que las puntuaciones del coeficiente intelectual (CI) de la escala de inteligencia de Weschler (WISC) y el test de matrices progresivas de Raven han aumentado sus calificaciones en el lapso del siglo XX, específicamente han incrementado 3 puntos en el marco de 10 años en las subpruebas tanto de analogías así como de similitudes, por lo que, actualmente se cree que los niños y adolescentes son mejores que sus padres o abuelos resolviendo problemas de razonamiento (Flynn J. R. 2007; Pinker, 2011). Estas consideraciones teóricas manifestadas, sin duda han promovido el uso de analogías y de matrices progresivas como tareas experimentales en el estudio del razonamiento abstracto.

Por su parte, desde el enfoque neuropsicológico de la inteligencia, Fuster (2005), enlista algunos de los correlatos estructurales-funcionales en los que engloba al córtex prefrontal, al córtex orbitofrontal, el hipocampo, y el lóbulo parietal. La esfera funcional además se representa en la conducta a través de las funciones ejecutivas, el almacenamiento de la información a largo plazo, el establecimiento de relaciones entre los distintos conceptos, la toma de decisiones, etc. mediante técnicas no invasivas es posible determinar científica y objetivamente los patrones de ondas cerebrales, así como la identificación de sectores de activación cerebral. A nivel mundial existen diversas publicaciones diarias de estudios realizados con EEG para entender la inteligencia.

Dichas investigaciones precedentes, por ejemplo, a nivel continental, tanto en Asia y Europa se ha investigado ampliamente al razonamiento abstracto, asimismo, se ha visto que en el continente de América y sobre todo Sudamérica existe decadencia de investigaciones con el uso de tecnologías como la EEG. En China, Rusia y Estados Unidos con el uso de tareas de razonamiento de orden lineal, matrices progresivas de Raven y tareas semánticas encontraron activación significativa en sectores frontales, parietales y occipitales con mayor presencia en la mayoría de bandas de frecuencias como ondas Theta, Alfa, Beta y Gamma (Brzezicka et al., 2016; Liang et al., 2018; Miasnikova et al., 2019).

En relación a lo expuesto, en el contexto ecuatoriano debido a las limitaciones con el uso de EEG, el presente proyecto de investigación es nuevo e innovador para la neuropsicología, ya que se aplicó el paradigma de razonamiento abstracto validado para Resonancia Magnética Funcional en tecnología open Brain Computer Interface (BCI). Por finalidad se tuvo el correlacionar la actividad eléctrica cerebral con las tareas de razonamiento abstracto, para lo cual, se utilizó el método de análisis de componentes independientes (ACI) de los 8 canales que permite conocer los sectores topográficos de activación.

Asimismo, mediante bootstrap como parámetro estadístico inferencial brindó la oportunidad de identificar las diferencias en los distintos rangos de frecuencia. Este método inferencial informático (Efron, 1979; Efron y Hastie, 2016; Efron y Tibshirani, 1994),

se basa en la idea que utilizar los mismos datos disponibles en la investigación puede dar mejores resultados que hacer suposiciones injustificadas sobre las condiciones que se tratan de estimar; las diferencias mencionadas permitió realizar el análisis en las bandas de frecuencia Gamma (γ) (25-100 Hz); Beta (β) (13 Hz- 25 Hz); Alfa (α) (8 Hz-12 Hz); Theta (θ) (5 Hz-7 Hz); Delta (δ) (0.5-4 Hz).

El marco teórico fue planteado desde dos capítulos, el primero aborda la conceptualización de razonamiento y sus tipos, el razonamiento abstracto desde la teoría de Piaget, así como las bases cerebrales y el rol de las funciones ejecutivas sobre el razonamiento abstracto, mientras que, en el capítulo dos, se explica sobre la EEG en la neuropsicología, la estructura del sistema OpenBCI, el sistema internacional 10-20 para la colocación de electrodos, las ondas cerebrales, los tipos de ondas y sectores cerebrales implícitos en el razonamiento abstracto y los métodos para el procesamiento de señales EEG.

En el capítulo tres se expone el apartado de metodología, en dónde se establecen los objetivos, el procedimiento de la investigación, registro y grabación de datos EEG, así como las etapas de adquisición, procesamiento y análisis estadístico. Por otra parte, en el desarrollo del capítulo 4 se muestran todos los resultados obtenidos a partir de la investigación realizada, seguido se muestra la localización topográfica de zonas de activación cerebral en tareas semánticas, visuales y reposo, así como también los rangos de frecuencia con mayor diferencia. A través de esto se expone la actividad eléctrica cerebral y áreas implicadas en el razonamiento abstracto semántico y visual. Finalmente, en la discusión y las conclusiones se relacionaron en base a todos los hallazgos obtenidos con la teoría y el estado del arte.

Capítulo Uno

1. Razonamiento.

La frase célebre de René Descartes “Cogito, ergo sum” o “pienso por consiguiente soy” nos permite adentrarnos hacia la historia, donde el pensamiento filosófico de diversos autores ha ido formando parte de distintos constructos que han constituido sólidas bases teóricas para la comprensión del razonamiento; por su parte, Carmona y Jaramillo (2010) lo definen como aquella forma de pensamiento que pone en juego nuevos juicios a partir de otros previamente conocidos. Dicho de otra manera, el razonamiento es el resultado propio de la actividad cortical, y permite al ser humano realizar asociaciones con experiencias previas para llegar a conclusiones y construir aprendizaje.

Existe un sinnúmero de premisas que intentan conceptualizar el razonamiento y el pensamiento, por ejemplo, Jaramillo y Puga (2016), explican que el razonamiento es el conjunto de actividades mentales consistentes en conectar unas ideas con otras. De acuerdo a este postulado podemos realizar asociaciones, comparaciones y así direccionarnos hacia objetivos. En cambio, para Arboleda (2013), el pensamiento implica la actividad global de las funciones cognoscitivas. En este sentido, podemos interpretar al razonamiento como la base de la dimensión mental para que se pongan en juego los mecanismos de atención, memoria, lenguaje, comprensión, etc. Ciertamente, estos términos de pensamiento y razonamiento explicados no difieren del uno del otro, ya que estas facultades son indispensables para la planificación, supervisión y evaluación del contenido mental.

1.1 Tipos de Razonamiento

Para empezar este apartado consideremos que un parque al que queremos ir está ubicado al noroeste del centro de la ciudad y nosotros estamos al sureste; como bien sabemos, si deseamos llegar hacia nuestro destino debemos tomar la dirección noroeste (Goodwin y Johnson-Laird, 2005). En realidad, es fácil para personas sanas utilizar la inferencia para tomar decisiones, ya que las distintas circunstancias en el día a día hacen que requiriéramos y utilicemos recursos individuales introspectivos para emitir una respuesta o responder de forma acertada. Asimismo, una persona que visite diez ciudades de Europa, podría inferir con cierta probabilidad que las centrales de trenes se sitúan en el centro de la

ciudad tan solo con observar una en esta ubicación (Wertheim y Ragni, 2018). Acotando a lo anterior, el ser humano en su correcto funcionamiento individual, posee habilidades esenciales que pueden influir directa o indirectamente sobre las decisiones, ideas, y hasta en la misma adaptación. A continuación, se tratará sobre dos enfoques clásicos que siguen siendo usados hoy en día.

Desde la psicología cognitiva existen dos enfoques que guardan relación con el razonamiento. El enfoque formal, por una parte, es el modelo científico concerniente a la resolución de problemas que utiliza recursos deductivos e inductivos, y el enfoque informal que se basa netamente en las experiencias o aprendizajes previos adquiridos por el individuo (van de Vijver, 2006). Cabe recalcar que el paradigma de la deducción perteneciente al enfoque formal es bastante arcaico, desde 1960 se encontró fuertemente conexo a la psicología del razonamiento, además, se creía que debía construirse en la mente para que el pensamiento racional tenga lugar. Desde aproximadamente el año 2000, por su lado, los procesos inductivos fueron tomando su lugar y dieron paso al uso de métodos probabilísticos y pragmáticos que se guían por la inferencia y son aceptados por su virtud de contenido más que por su estructura lógica (Evans, 2012).

1.2 Razonamiento Abstracto

El razonamiento abstracto, por una parte, es un proceso lógico de pensamiento, algunas definiciones concernientes concuerdan en que la abstracción se refiere a algo que solo existe en la mente, ya sea una representación mental, una idea, una definición que puede o no existir en el mundo externo (Llinás, 2002). De esta manera, Bravo y Urquiza (2016), expresan que es un proceso que puede ser desarrollado y que permite encontrar soluciones novedosas y originales ante los problemas que se enfrenta el ser humano.

A juicio de Jaramillo et al. (2016), definen al pensamiento abstracto como la capacidad individual de la persona para realizar deducciones, sintetizar la información, analizarla e interpretarla de manera rápida y asociativa. De la misma manera Ferreira (2007), manifiesta que la rapidez con la que operan los procesos cognitivos favorece tanto al análisis, así como a la síntesis de la información, así como del conocimiento. Evidentemente, todo lo mencionado puede provocar un efecto para la resolución de

problemas y el aprendizaje, entonces, este componente cognitivo permite descubrir diferencias y similitudes, e influye en el desarrollo individual, ya que facilita el procesamiento de la información y la comprensión del mundo en general.

Desde la filogenética, Llinás (2002), refiere en su capítulo: el lenguaje como hijo del pensamiento abstracto, que la capacidad de abstraer es bastante antigua, por lo cual, se cree que es desarrollada junto con la evolución del Sistema Nervioso (SN). La intencionalidad motora, por ejemplo, está constituida según el autor como un nivel de abstracción, en este sentido, consideremos que el pensamiento abstracto se encuentra presente y empieza muchísimo antes que el lenguaje. Así pues, acotando a lo anterior, si el desarrollo va sujeto a la trascendencia, se puede inferir que cada etapa de desarrollo incrementa y fortalece cada dominio. Existen muchas teorías cognitivas como la de Piaget, Vygotsky, Ausubel y Bruner que intentan explicar cómo los procesos cognitivos en este caso el razonamiento se desarrolla.

1.2.1 Razonamiento Abstracto Desde el Enfoque de Jean Piaget. Como se ha mencionado con antelación el razonamiento abstracto puede ser desarrollado, para sustentar la temática, para Jean Piaget la inteligencia es producto del desarrollo creciente de estructuras que se dan a lo largo de cuatro etapas que constituyen la maduración biológica que aproximadamente empieza desde el nacimiento del sujeto hasta la edad de los 15 años. Dentro de estas fases se produce una apropiación superior a la anterior y responden de modo integrativo de evolución que pueden ser definidas como estadios que representan cambios a nivel estructural-funcional, y que están clasificadas de la siguiente manera: la etapa sensorio-motora que oscila desde los 0 hasta los 2 años. La etapa denominada preoperacional que surge a partir de los 2 a los 7 años. La etapa nombrada de las operaciones concretas que oscila entre los 7 a los 11 años y por último, la etapa de las operaciones formales que representa el periodo de los 11 a los 15 años de edad (Saldarriaga Zambrano et al., 2016).

Para Piaget el razonamiento abstracto surge de la etapa denominada de las operaciones formales que se encuentran asociadas a la maduración biológica y a la experiencia individual a partir de acciones; es importante considerar que todas las etapas

son decisivas, por ejemplo, la etapa de las operaciones concretas juega un papel relevante, ya que el uso de esquemas lógicos de seriación, clasificación de conceptos, ordenamiento mental, etc. favorecen a las habilidades y destrezas para las etapas consiguientes (Rojas y Farías, 2015).

Evidentemente en la etapa llamada de las operaciones formales que oscila entre los 11 y los 15 años de edad, el individuo será capaz de realizar operaciones mentales de segundo orden como la manipulación de conceptos y conjuntos abstractos, el uso de la lógica ante símbolos, la separación entre “forma y contenido”, el manejo de términos hipotéticos- deductivos (van de Vijver y Willemsem, 1993; van de Vijver, 2006).

Piaget (1969), en su libro de Psicología y Pedagogía menciona que, en la etapa preescolar y escolar, el uso de hipótesis e inferencias acerca de lo que nos rodea incrementa la información semántica, e interviene en la formación de conceptos y categorías. Asimismo, Rips et al. (2013), mencionan que, cuando la persona infiere, el empleo de conocimientos previos permiten comprender y predecir situaciones, conllevando así que toda la información pueda ser actualizada o modificada con relación a la experiencia. Para ejemplificar de mejor manera, cuando nosotros mostramos un martillo, una linterna o cualquier otro objeto a una persona, ella misma logra entender que es lo que está observando tan solo con visualizar sus formas y partes, además, puede rastrear sus funciones y predecir su comportamiento con base a objetivos e intereses individuales.

El razonamiento abstracto asume un rol sumamente relevante en los procesos de aprendizaje, ya que se ha considerado el sello de la inteligencia humana. Los avances tecnológicos cada vez permiten correlacionar distintas funciones cognitivas con sectores topográficos cerebrales, sin duda, en la actualidad las áreas de Brodmann (AB) han servido para el apoyo teórico y clínico. A continuación se detallarán las bases cerebrales en el razonamiento abstracto.

1.3 Razonamiento Abstracto: Bases Cerebrales

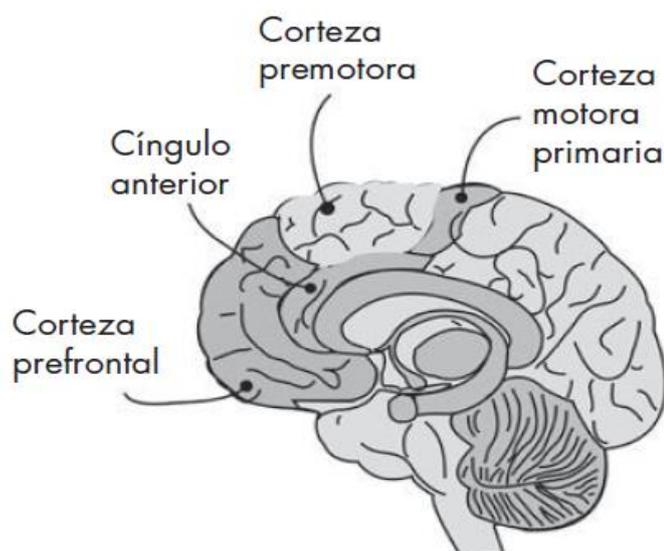
El cerebro humano se conoce que está formado por los lóbulos frontal, occipital, parietal, temporal, y la ínsula; las divisiones surgen a partir de dos grandes surcos profundos: la

cisura de Silvio y la cisura central, en este sentido, se ha visto que cada lóbulo se correlaciona con distintas funciones cognitivas, conductuales y emocionales.

Por un lado, los lóbulos frontales (LF) se ubican en la parte más anterior del cerebro y se dividen en cuatro regiones (figura 1): corteza motora primaria (AB 4) responsable de la actividad voluntaria motora; corteza premotora (AB 6) encargada de la programación del comportamiento motor; cíngulo anterior (AB 24) que participa en la regulación de los estados motivacionales y la corteza prefrontal (CPF) considerada como la de mayor tamaño que se divide en tres regiones: orbitofrontal (COF), dorsolateral (CPFDL) y medial (CPFM) (Fuster, 2002; Gónzales, 2015).

Figura 1

División anatómica de los lóbulos frontales



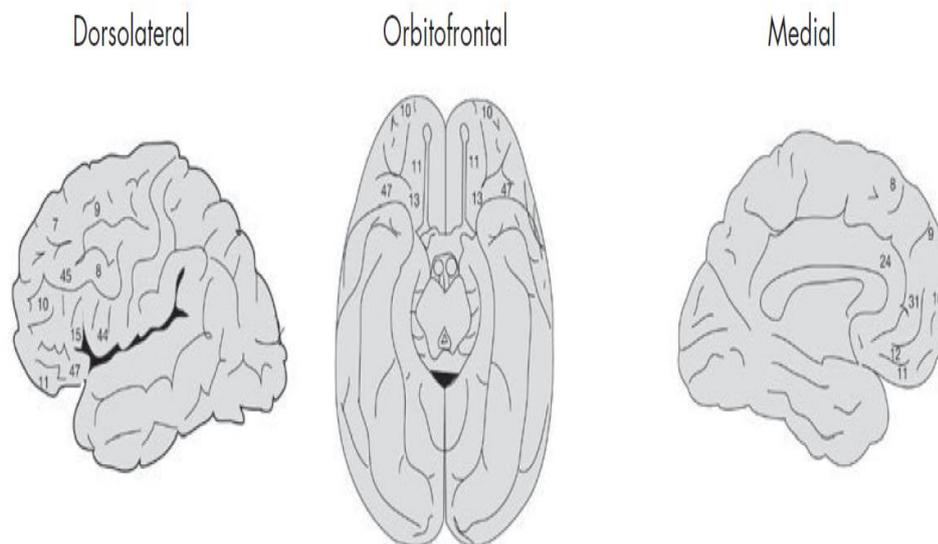
Nota. Tomado de *Desarrollo neurológico de las funciones ejecutivas en preescolar* (p.5), por Gónzales, 2015, El Manual Moderno.

Estas tres grandes regiones de la CPF (véase la figura 2) que ocupan el polo frontal según las AB, pertenecen a sectores ubicados por delante de las zonas premotoras, lo cual, las áreas 8, 12 y 13 de zonas anteriores y las áreas 9, 10, 11, 46, 47 constituyen a dicha corteza (Gónzales Osornio, 2015). De esta forma, las AB 9 y 46 pertenecientes a la CPFDL se relacionan con el razonamiento abstracto, la regulación atencional y la organización temporal del comportamiento humano (Portellano, 2005; Shunta y Estévez, 2020).

Por su parte, Shunta y Estévez (2020), identificaron de manera general por medio de un metaanálisis que la red neurológica que se encuentra involucrada en el razonamiento abstracto se halla formada por una red frontoparietal bilateral que incluye la corteza prefrontal rostrolateral izquierda, centrada en el AB 10 con extensión a las AB 47, 45 y 46, la ínsula bilateral, la corteza parietal posterior en el AB 7 y 40, así como sectores de la región posterior del giro frontal inferior, giro frontal medio, surco frontal superior, córtex prefrontal medial y la región dorsolateral derecha AB 9 (Hobeika et al., 2016).

Figura 2

División anatómica de la corteza prefrontal y su localización de acuerdo con el mapa citoestructural de Brodmann.



Nota. Tomado de *Desarrollo neurológico de las funciones ejecutivas en preescolar* (p.5), por Gonzáles, 2015, El Manual Moderno.

De manera específica, con respecto a los tipos de razonamiento, por una parte, la red implicada en el razonamiento analógico de carácter semántico participa una red prefrontal lateral izquierda, con principal actividad en el sector rostrolateral del giro frontal inferior y giro frontal medio izquierdos que corresponden a las AB 10, 46 y 47. Otro sector de activación encontrado fue la parte posterior del giro frontal inferior izquierdo AB 44. Entre otras áreas adicionales de activación fueron en la circunvolución frontal superior en el sector anterior y dorsal AB 8,9 y en las cabezas del núcleo caudado bilaterales. En cuanto al razonamiento analógico visoespacial están involucradas cuatro áreas corticales: la región

rostrolateral del surco frontal inferior izquierdo y la circunvolución AB 10, 47 y 46, así como el giro frontal medio derecho AB 9, la ínsula anterior derecha y el cerebelo (Gonzales Osornio, 2015; Wertheim y Ragni 2018; Shunta y Estévez, 2020).

Wertheim y Ragni (2018), consideraron que para estudiar al razonamiento relacional es necesario centrarse en 2 ejes fundamentales: en primera instancia el tipo de inferencia (deductivo o inductivo) y en segundo lugar el contenido del problema ya sea semántico, simbólico o geométrico. Como se ha mencionado con anterioridad los sustratos neuroanatómicos permiten correlacionar la actividad cortical con los diversos estados cognitivos. En este sentido, los lóbulos frontales participan en el razonamiento abstracto y son considerados como los de programación y control. Luria (1974), catalogó a dichos lóbulos como el asiento de las funciones ejecutivas (FE), cabe recordar que Fuster (1968), fue quien aportó el término y hoy en día se conoce que las FE abarcan un conjunto de procesos cognitivos (Echavarría, 2017). Desde el marco de la evaluación Richland y Morrison (2010), manifiestan que la utilización de analogías no es simplemente otra medida de las FE en el marco de la evaluación de las mismas, sino que la resolución de tareas de orden semántico, visual, lógico, etc. son el resultado de la actividad cerebral compleja en la que participan mecanismos anatomofisiológicos del sistema nervioso, sin dejar de un lado la dimensión de la experiencia y cultura humana.

1.3.1 El Rol de las Funciones Ejecutivas en el Razonamiento Abstracto. Las FE constituyen un nivel jerárquico más elevado de la organización del comportamiento humano, las definiciones que se han dado con el transcurrir del tiempo han sido numerosas, sin embargo, su mayoría poseen similitud, ya que las FE pueden ser entendidas como el conjunto de funciones supramodales de alto nivel que incluyen habilidades cognitivas y emocionales que permiten planificar, ejecutar y supervisar la conducta (Barroso Martín y León Carrión, 2002; Lezak et al., 2004; Portellano, 2005).

Para ejemplificar la importancia de las FE, Luria et al. (1930), demostraron que las tareas de razonamiento abstracto en procesos de alfabetización logran reestructurar la actividad cortical y cognitiva del individuo, asimismo, se ha encontrado que el interés o

novedad por tareas que demanden trabajo cognitivo provocan mayor implicación de sectores prefrontales (Jimenez et al. 2017; Portellano y García, 2014).

Los mecanismos esenciales de las FE según Portellano y García (2014), son la flexibilidad, inhibición, memoria de trabajo, programación, así como mecanismos auxiliares los cuales se relacionan con la inteligencia, la atención, la memoria y sin duda la percepción. Las tres características más destacadas por los autores son las siguientes:

- Capacidad para poder llegar a la culminación de objetivos con éxito por medio de todas las estrategias empleadas para la planificación de las secuencias y hasta para la valoración y el progreso de todo lo propuesto.
- Capacidad para la resolución de problemas complejos nuevos.
- Capacidad para la adaptación y respuesta a estímulos ambientales nuevos y relevantes.

A continuación se describirá la técnica de mapeo cerebral no invasivo con EEG, la descripción y estructura de la interfaz cerebro-computadora de la marca OpenBCI (Brain Computer Interface), los tipos de señales electroencefalográficas, sus características esenciales, estudios que respalden su uso con dicha tecnología en el razonamiento abstracto así como métodos más utilizados para el procesamiento de las bioseñales EEG.

Capítulo dos

2. Técnicas No Invasivas para el Mapeo Cerebral

Las evidencias encontradas por clínicos e investigadores con técnicas no invasivas, según Portellano y García (2014), han proporcionado información de tipo visual, espacial y temporal; desde la neuropsicología se han estado validando algunos modelos predictivos a partir de revisiones y por medio de la reconstrucción de los métodos clásicos. Las técnicas no invasivas en neurociencias en el siglo XXI han progresado propiciando información y datos identificables para correlacionar la actividad cerebral y a su vez detectar cambios electrofisiológicos del SN (Bruna et al., 2011).

Desde la perspectiva de la investigación, a nivel mundial existen un sinnúmero de publicaciones diarias de estudios realizados que emplean recursos no invasivos para mapear procesos cognitivos. Por ejemplo, la electroencefalografía (EEG), la magnetoencefalografía (MEG), la resonancia magnética funcional (RMf) y la tomografía por emisión de positrones (PET) son técnicas que propician información importante, además de influir en la comprensión de cómo la materia física del SN puede dar lugar al pensamiento, la emoción y la conducta. Aunque algunas técnicas son diferentes y muestran ámbitos distintos, toda la información científica en el campo de las neurociencias ha permitido ampliar investigaciones e ir teniendo en consideración los avances ante la reorganización funcional en procesos de patología, y en procesos de actividad neuronal con el uso de tareas experimentales. Cabe destacar que la actividad cerebral es bastante dinámica, puesto que dependerá del estado del individuo y de las distintas configuraciones de los estímulos que sean presentados (Postigo Rodrigo, 2017).

Debido a los altos costes de ciertas técnicas, el auge de las interfaces cerebro-ordenador o BCI de bajo coste han dado la posibilidad de su uso para el mapeo de distintas zonas cerebrales y el análisis de la conectividad cortical. Bruna, et al. (2011), refieren que hoy en día la utilización de recursos tecnológicos han ido tomando su lugar en los procesos de neurorrehabilitación.

2.1 El Mapeo Cerebral No Invasivo con Electroencefalografía

Evidentemente el ser humano ante estados de reposo y actividad cognitiva presenta manifestaciones en la actividad fisiológica; dentro de la comunidad científica la actividad eléctrica cerebral fue detectada hace más de 150 años por el inglés Richard Caton (1975), desde ese entonces, aunque el enfoque neurofisiológico en etapas iniciales haya atribuido a las ondas bajas como problemas de los dispositivos, este mismo enfoque planteó que los potenciales postsinápticos generan campos eléctricos que rodean a grandes grupos de neuronas, así pues, se ha estimado que para que la señal sea captada por el electrodo se necesita de aproximadamente 10000 a 50000 neuronas activadas sincrónicamente (Li et al., 2020; Murakami y Okada, 2006).

Diversos autores manifiestan que las neuronas deben encontrarse activas y con una orientación “correcta” o “similar”, de lo contrario los campos eléctricos generados se anularían entre sí. Las neuronas piramidales de la corteza cerebral son perpendiculares a la superficie cortical y contribuyen a la generación de bioseñales neurológicas, ya que logran atravesar el tejido cerebral, el cráneo y sin duda el cuero cabelludo. Existen 3 implicaciones en la EEG: la primera es que esta técnica brinda una medida directa de la actividad eléctrica de las células nerviosas. La segunda es la resolución temporal que es tomada en milisegundos y la tercera es la resolución espacial baja porque los potenciales postsinápticos activan grupos de neuronas y no solo aquella que está debajo del electrodo (Cohen, 2014; Hu y Zhang, 2019; Li et al., 2020).

La EEG al ser una técnica no invasiva ofrece un conjunto de señales bioeléctricas registradas simultáneamente mediante distintos canales y que puede ser observada como un conjunto de datos multivariado. Esta herramienta se ha comenzado a utilizar ampliamente en el campo de la neurorrehabilitación, así como en la investigación puesto que permite la visualización de la actividad cerebral.

La EEG ha sido ampliamente estudiada demostrando diferentes tipos de actividad cerebral en el deterioro cognitivo (Sharma et al., 2019), trastornos de conducta (Morand-Beaulieu et al., 2016), adicción (Theunissen et al., 2012), así como su uso en personas con secuelas físicas o neurológicas como la hemiplejía (Ono et al., 2014), trastorno por déficit de

atención con hiperactividad (TDAH) (Solovieva et al., 2016). La EEG también se ha utilizado en pruebas estandarizadas como el test de matrices progresivas Raven (Wronka et al., 2013), pruebas de screening cognitivo como el test de Evaluación Cognitiva de Montreal (MoCA) (Zeng et al., 2017), o en tareas como el paradigma Go/NoGo (Deiber et al., 2021); desde la neurorehabilitación, se ha usado para mejorar la percepción audiovisual multimodal (Kelly y O'Connell, 2013), el entrenamiento atencional (Arvaneh et al., 2019), etc.

2.1.1 Equipo Open Brain Computer Interface para Electroencefalografía. El registro de la actividad bioeléctrica cerebral se realiza en torno a distintas fases y etapas en las que se encuentra la adquisición de bioseñales neurológicas, el procesamiento y la salida. Además, esta interfaz brinda la oportunidad de la grabación de señales adquiridas por los electrodos utilizando así elementos de hardware y software. La placa que cuenta con un microprocesador de 5 entradas/salidas que se muestra en la figura 3, permite la comunicación inalámbrica entre el casco y la aplicación software BCI que usa tecnología Bluetooth® y USB de alta velocidad que permite la captación de la señal en milisegundos que puede ser observada en tiempo real (OpenBCI, 2021).

Figura 3

Elementos de equipo Open Brain Computer Interface



Nota. Tomado de *OpenBCI* [fotografía], OpenBCI, 2021, www.openbci.com.

El hardware del sistema denominado “electrode cap” es un casco especial con malla para el uso de hasta 21 canales (Figura 3) que pueden ser utilizados hasta con 35

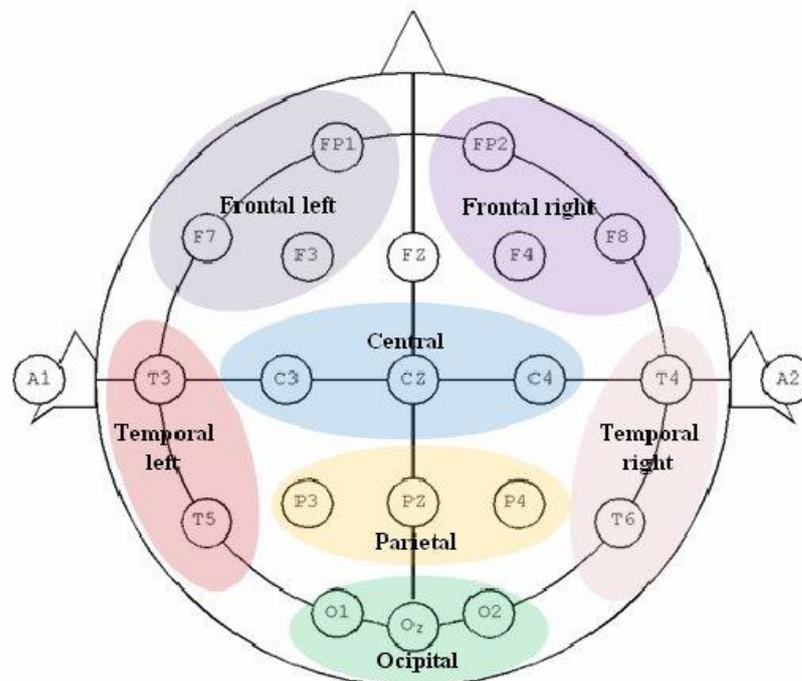
posiciones diferentes aplicando el sistema internacional 10-20. Este casco funciona con cualquier tarjeta OpenBCI, el diseño del mismo facilita la tarea de colocación de electrodos y tarda menos de 30 segundos en configurarse y funcionar.

2.1.1.1 Sistema Internacional 10-20 para la Colocación de Electrodo. Duarte (2015), indica que el sistema internacional 10-20 proporciona información para la distribución y colocación de los electrodos. La denominación 10 % y 20 % se debe al espacio que deberá existir entre cada electrodo entre puntos identificables del cráneo.

Dependiendo de la cantidad de electrodos que se coloquen, cada posición deberá ir señalada tanto con una letra y un número, las letras F, T, P, O, corresponden a los lóbulos cerebrales, en este sentido, al lóbulo frontal, parietal, central, temporal, así como occipital, aunque también podrán distribuirse e identificarse con la letra "C" mismos que corresponden a las zonas cerebrales centrales. Los electrodos separados con los números impares van distribuidos en el hemisferio cerebral izquierdo y los electrodos con números pares se colocan sobre el hemisferio cerebral derecho.

Figura 4

Áreas cerebrales para cálculos del espectro de potencia de la banda EEG.



Nota. Tomado de *The Effect of Transcranial Magnetic Stimulation on Brain Bioelectrical Activity* (pag.16), por Valiulis (2014), (<https://epublications.vu.lt/object/elaba:2183529/>).

2.1.2 Estructura del Sistema Open Computer Interface. Un sistema BCI se encuentra organizado por tres etapas básicas, la adquisición, el procesamiento y la salida. Según Gómez Figueroa (2016), la etapa de adquisición de bioseñales es captada por medio de los electrodos, esta etapa al ser la primera permite la visualización de los registros de cada electrodo en tiempo real sin la aplicación de ningún filtro. En la etapa segunda de procesamiento existe la etapa de preprocesamiento, aquí es necesaria la aplicación de filtros Notch y pasa banda para la eliminación de artefactos que interceden en la captación de la señal; el uso de dichos filtros eliminarán elementos internos biológicos, externos como la actividad muscular o el ruido que podría interferir en el registro de las bioseñales neurológicas.

La etapa de extracción y clasificación de las señales es una etapa que se encuentra inmersa dentro del procesamiento, por lo tanto, se puede verificar la actividad cortical en las distintas bandas de frecuencias para cada canal, visualización de las ondas por medio de la transformada rápida de Fourier (FFT), así como un diagrama gráfico de la cabeza en donde se pueden observar los canales que se encuentran distribuidos en el cuero cabelludo como se visualiza en la figura 5; en la etapa de salida del sistema, las señales pueden ser visualizadas y transformadas según los filtros aplicados, asimismo, al ser una aplicación de código abierto se pueden generar comandos de control que pueden dar paso al uso de distintas herramientas externas como sillas de ruedas, control de brazos robóticos, etc.(Coronado Bautista, 2021; Gómez Figueroa, 2016; Laskaris et al., 2013; Liu et al., 2019; Santopetro et al., 2020).

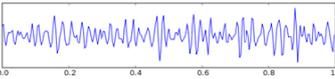
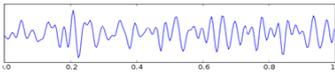
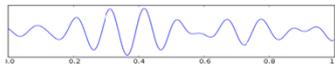
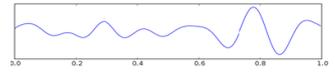
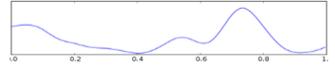
2.2 Ondas Cerebrales y el Registro con Electroencefalografía

La actividad eléctrica cerebral se estudia en las bandas pertenecientes a las ondas Gamma (γ); Beta (β); Alfa (α); Theta (θ); Delta (δ). Estos tipos de frecuencias son medidas en Hertz (Hz), que son la cantidad de oscilaciones por segundo, así como su amplitud que puede ser interpretada en milivoltios (μV) y microvoltios (mV) (Lu y Hu, 2019). La actividad rítmica

puede ser reconocida por su forma, ubicación de electrodos o por la distribución y su simetría véase en la tabla 1.

Tabla 1

Tipos de ondas, rangos de frecuencia y amplitud, regiones cerebrales y ocurrencia.

Tipo de ondas	Rangos de frecuencia (Hz) y amplitud (μV) de ondas cerebrales	Región cerebral	Ocurrencia
<p>Gamma</p> 	25-100 Hz; 2 mV	Frontal, Parietal, Occipital.	Inteligencia, atención, alerta, tareas ejecutivas, memoria.
<p>Beta</p> 	13-25 Hz; 5-10 μV	Frontal, Parietal.	Lenguaje, memoria de trabajo, tareas ejecutivas, atención.
<p>Alfa</p> 	8-12 Hz; 20-60 μV	Parietal, Central, Temporal, Occipital.	Relajación, con ojos cerrados la amplitud de la onda alfa aumenta.
<p>Theta</p> 	5-7 Hz; 40 μV	Frontal, Parietal, Temporal.	Razonamiento, memoria de trabajo, atención, estrés, sueño ligero.
<p>Delta</p> 	0,5-4 Hz; 50 μV	Frontal, Central, Parietal, Temporal, Occipital.	Sueño profundo, inconsciencia (coma), además puede tener sincronía con otras ondas.

Nota. Adaptación propia de Bermeo et al. (2022, p. 3)

A continuación, se enlistarán y detallan tanto los tipos de ondas cerebrales existentes, el rango de frecuencia, su amplitud de onda, localización topográfica cerebral donde pueden ser obtenidas las señales y a su vez se describirán investigaciones con EEG.

2.2.1 Ondas Delta. El rango de frecuencia es inferior a los 4 Hz, posee un rango de amplitud que está entre los 50 μV , este tipo de ondas son consideradas como las más lentas, pero con una mayor amplitud de onda, se encuentran presentes en zonas frontales,

parietales, centrales, temporales y occipitales, según Sciotto y Niripil (2018), pueden localizarse sobre el córtex frontal en adultos y la parte parieto-occipital en niños, usualmente este tipo de onda cerebral es asociada con la inconsciencia y el sueño.

2.2.2 Ondas Theta. El rango de frecuencia es de 5-7 Hz con amplitud de hasta 40 μV y pueden ser obtenidas en sectores frontales, parietales y temporales. Helmlinger et al. (2020), refieren que la codificación de la memoria, la memoria de trabajo, así como la memoria episódica son procesos que pueden y que han sido categorizados en esta frecuencia.

2.2.3 Ondas Alfa. Este tipo de onda tiene un rango de frecuencia de entre 8-12 Hz y alcanza amplitudes de 20 μV hasta los 60 μV , su disminución en esta banda de potencia es un indicador de aumento en la actividad cerebral, aunque también se relaciona con el movimiento que se origina en la corteza somatosensorial del lóbulo parietal. Sánchez et al. (2018), manifiestan que este tipo de oscilaciones pueden ser captadas de una mejor forma en los lóbulos occipitales, parietales, temporales y en áreas centrales. Bastiaansen y Hagoort (2006), relacionan esta frecuencia con procesos atencionales y de lenguaje.

2.2.4 Ondas Beta. Flores et al. (2020) relaciona este tipo de ondas con la mayor actividad mental, su frecuencia oscila entre 13 y 25 Hz, su amplitud varía de entre 5-10 μV ; Estas ondas cerebrales se detectan normalmente en los lóbulos parietales y frontales, además, se cree que la actividad ampliamente distribuida está relacionada con un mayor estado de alerta y sobre los procesos cognitivos, por su parte, Choudhary (2016), encontró que este tipo de ondas tienen relación con coeficientes intelectuales altos.

2.2.5 Ondas Gamma. Las ondas Gamma se hallan entre los 25-100 Hz y alcanzan hasta los 2 mV de amplitud, pueden ser captadas a través del córtex somatosensorial. Se ha postulado además que dichas ondas tienen la capacidad de conectar información distintos sectores córtico-subcorticales. Este tipo de ondas suelen ser captadas en los lóbulos frontales, parietales, occipitales y tienen una relación con distintos mecanismos atencionales, memorísticos, lingüísticos, perceptivos, etc. (Sánchez et al., 2018; Torres et al., 2014).

2.3 Tipos de ondas y sectores cerebrales implícitos en el Razonamiento Abstracto

McGrew (2009), definió a la Inteligencia fluida (Gf) como la capacidad de resolución de problemas novedosos a través del razonamiento abstracto. En torno al procesamiento semántico Weiss y Mueller (2003), encontraron diferentes patrones en las frecuencias superiores a 11 Hz en el uso de ciertas palabras, como sustantivos concretos y abstractos, verbos con imágenes, sustantivos comunes y nombres propios. Asimismo, recalcan que el rango de frecuencia 3-7 Hz se origina como el resultado de la interacción cortico-hipotalámica relacionada con procesos mnemotécnicos. El rango de frecuencia 8-12 Hz, la propagación reverberante de impulsos nerviosos a través de conexiones cortico-talámicas es probablemente importante para el procesamiento sensorial y semántico. Además, el rango de entre 13-30 Hz generados en la corteza cerebral parecen estar correlacionados con subprocesos lingüísticos más complejos como la sintaxis o semántica.

Basile et al. (2013), realizaron análisis de bioseñales neurológicas con el uso de pruebas de inducción verbal-lógica, numérica-lógica y visual-abstracta con 24 sujetos. La actividad Beta aumentó en dos o más sub-bandas de frecuencia en tareas atencionales y de razonamiento, cabe recalcar que en cada sujeto la actividad medida en Hz y la activación topográfica cerebral fue diferente en cada uno de todo el grupo de estudio.

En un estudio de mapeo cerebral y potenciales cerebrales relacionados con eventos (PRE) durante la presentación de palabras encontraron activación cortical de regiones topográficas motoras y sensoriales, entre ellas la corteza prefrontal posterolateral y en parte en el área premotora para las palabras abstractas y la corteza sensorial específicamente la corteza de asociación temporal para las palabras concretas específicamente la corteza de asociación temporal. Las frecuencias de las ondas Beta y Gamma estuvieron presentes en sectores frontopolares con orientación encaminada hacia la zona hemisférica derecha (Alcaraz et al., 2017). Estos autores postulan además que la orientación hacia dicho hemisferio se puede deber a la carga emocional en la resolución de tareas abstractas novedosas. Con relación a las palabras concretas la actividad Delta se encontró en ambos hemisferios y mostraron polos muy claros en los mapas cerebrales específicamente en las regiones occipitales.

Desde la panorámica investigativa las analogías han sido fundamentales para conocer los niveles de razonamiento. Chuderski y Andrelczyk (2015), encontraron oscilaciones en la corteza frontal y parietal en las bandas de frecuencia Theta y Gamma ante tareas de asociación y respuesta de analogías. La manipulación de conjuntos abstractos como el manejo de patrones con formas asimétricas y con características visuales de orientación, saturación, ancho de borde y rayas en el interior de la forma en la resolución de tareas de este tipo se ha visto una mayor presencia de ondas Theta y Alfa, específicamente en áreas frontales y temporales. Similarmente, Williams et al. (2019), encontraron este tipo de frecuencia en sectores frontales ante la resolución de tareas de razonamiento analítico, y en áreas parietales la presencia de ondas Alfa relacionadas con la recuperación de información a largo plazo.

Kang et al., (2017), menciona que los lóbulos temporales participan en la resolución de tareas de razonamiento espacial, estos autores utilizaron a 2 grupos de estudio. El primer grupo obtuvo mejores puntuaciones en las pruebas en los dominios de lenguaje y visoespacial que el segundo grupo. En cuanto a las tareas lingüísticas y visoespaciales el primer grupo que obtuvo mejores puntuaciones en los resultados se encontró la banda de frecuencia Theta en los electrodos frontales y temporo-parieto-occipitales bilateralmente en las tareas de razonamiento. En los sujetos con menores puntuaciones se evidenció de igual manera ondas Theta sobre los electrodos frontales bilaterales y temporales. Entonces, la diferencia de activación topográfica cerebral fue únicamente sobre los lóbulos parietales.

En este sentido, en el capítulo expuesto se comprende que toda la información obtenida por medio de EEG ha sido fundamental para descifrar y conocer los sustratos neuroanatómicos subyacentes al razonamiento abstracto. Llama la atención que los avances de investigación intentan encontrar las redes neuronales encargadas de ciertos tipos de procesos cognoscitivos, conductuales, emocionales y sin duda el auge de los métodos computacionales da la oportunidad de utilizar distintas metodologías para el procesamiento y análisis de las bioseñales.

2.4 Métodos para el procesamiento de señales EEG

Existe un sinnúmero de análisis que pueden ser aplicados a señales EEG, por ejemplo, en el análisis temporal se estudia la amplitud de las ondas en el curso del tiempo, asimismo, en el análisis frecuencial en donde a partir de la densidad espectral de potencia se puede verificar cuál es el tipo de onda predominante. Los potenciales relacionados con eventos (PRE), por ejemplo, permiten analizar segmentaciones temporales de registros tomados en condición de estímulos de índole visual, auditiva, etc. su objetivo es extraer únicamente aquella época o instante de tiempo en el que se produce un evento concreto o cambio importante sobre los registros con relación al curso temporal de las grabaciones EEG (Delorme et al., 2011).

Otro tipo de metodología en el estudio de bioseñales y ampliamente utilizada en estudios EEG es el análisis de componentes independientes (ACI), esta técnica para reducir dimensionalidad se encarga de separar las fuentes generadoras de potencial que se encuentran mezcladas linealmente y están distribuidas en el cuero cabelludo. Este método de procesamiento sirve para encontrar la fuente que más contribuye a la señal EEG y es estadísticamente independiente, algunos autores manifiestan que utilizar ACI brinda la oportunidad de identificar transiciones y cambios en el estado psicofisiológico cerebral (Delorme y Makeig, 2004).

Indudablemente el uso de estadísticas paramétricas por medio de las fórmulas comunes que se usan normalmente una distribución "gaussiana" sería equivalente a realizar un número infinito de extracciones, sin embargo, según Delorme y Makeig (2004), en los últimos 15 años han surgido una variedad de métodos nuevos como EEG LAB en donde existe la posibilidad de utilizar cajas de herramientas para procesar los datos de manera interactiva, así como la realización de grabaciones en tiempo real de la actividad bioeléctrica cortical.

Capítulo Tres

Metodología

3. Método

Se realizó un estudio no experimental mixto cuantitativo y cualitativo de alcance inferencial en un grupo de 20 universitarios sanos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. Con respecto a los estudios mixtos, Hernández et al. (2014), afirman que estos métodos engloban procesos de carácter sistemático, empíricos, así como críticos de investigación de datos cuantitativos y cualitativos para así lograr inferencias en torno a toda la información recabada cuyo fin es alcanzar un mejor y mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio.

Para dar cumplimiento a la investigación se propusieron, 1 objetivo general y 5 específicos que serán detallados a continuación:

3.1 Objetivo General

- Identificar la relación existente entre la actividad eléctrica cerebral y las tareas de razonamiento abstracto semántico y visual por medio de EEG cuantitativa a través de una interfaz open BCI de 8 canales.

3.2 Objetivos específicos

- 1) Definir las zonas de activación eléctrica cerebral por medio de tareas semánticas de razonamiento abstracto empleando tecnología BCI.
- 2) Establecer las zonas de activación eléctrica cerebral por medio de tareas visuales de razonamiento abstracto empleando tecnología BCI.
- 3) Identificar qué tipo de ondas cerebrales tienen mayor implicación en las tareas de razonamiento abstracto semántico a nivel frontoparietal empleando tecnología BCI.
- 4) Determinar qué tipo de ondas tienen mayor implicación en las tareas de razonamiento abstracto visual a nivel frontoparietal empleando tecnología BCI.
- 5) Relacionar la actividad eléctrica cerebral con áreas cerebrales implicadas en las tareas de razonamiento semántico y visual.

La muestra estuvo compuesta por 12 mujeres y 8 hombres seleccionados por conveniencia a través de muestreo no probabilístico que cumplieron los siguientes criterios de inclusión y exclusión.

3.3 Criterios de inclusión

1. Personas mayores de 18 años de edad.
2. Obtención de una puntuación mayor o igual a 26 en la evaluación cognitiva Montreal (MoCA).
3. Aceptación de los participantes por medio del Consentimiento Informado.

3.4 Criterios de exclusión

1. Personas con discapacidad física que interfiera la resolución de las tareas.
2. Sujetos con limitaciones cognitivas que dificulten la comprensión de los paradigmas que serán aplicados.
3. Consumidores de sustancias con/sin limitaciones cognitivas.
4. Pacientes psiquiátricos con/sin limitaciones cognitivas.
5. Sujetos con uso de dispositivos auxiliares como lentes u audífonos.
6. Individuos Mayores de 30 años de edad.
7. Usuarios con dominancia manual izquierda.

3.5 Hipótesis de la investigación:

(Hi): A mayor actividad eléctrica fronto-parietal y occipital en la realización de tareas de razonamiento abstracto visual, menor la actividad eléctrica temporo-parieto-occipital en tareas de razonamiento abstracto semántico.

(H0): No existe correlación entre la actividad eléctrica cerebral y los sectores frontoparietales y temporo-parieto-occipitales en las tareas de razonamiento visual y semántico.

(Ha): Existe correlación estadísticamente significativa entre la actividad eléctrica fronto-

parietal y temporo-parieto-occipital en las tareas de razonamiento abstracto visual y semántico.

3.6 Procedimiento

Los participantes diestros incluidos en el estudio firmaron un consentimiento informado (ver anexo 1), una vez brindada la aceptación, se procedió a realizar una entrevista y la evaluación neuropsicológica breve. Para garantizar el anonimato, cada participante tuvo un código de registro único para la colocación de los sistemas de registro EEG y el paradigma informatizado en PsychoPy. Las mediciones se llevaron a cabo en la clínica Santa Inés, para dar cumplimiento a los objetivos, la información y los datos fueron recogidos y recopilados de la siguiente manera:

3.6.1 Entrevista semiestructurada para las variables sociodemográficas: Se estableció una entrevista semiestructurada con preguntas sobre el sexo, la edad, la lateralidad del sujeto. Además, para que el participante cumpla con los criterios de inclusión, se realizaron preguntas con una ficha de elaboración propia (ver anexo 2) que engloban preguntas en relación a los criterios de exclusión, como por ejemplo, el uso de dispositivos auxiliares como lentes u audífonos, y sobre posibles antecedentes personales de trastornos neurológicos, psiquiátricos, por consumo de medicamentos o sustancias que podrían llegar a interferir tanto en la adquisición, así como en el análisis de las bioseñales cerebrales.

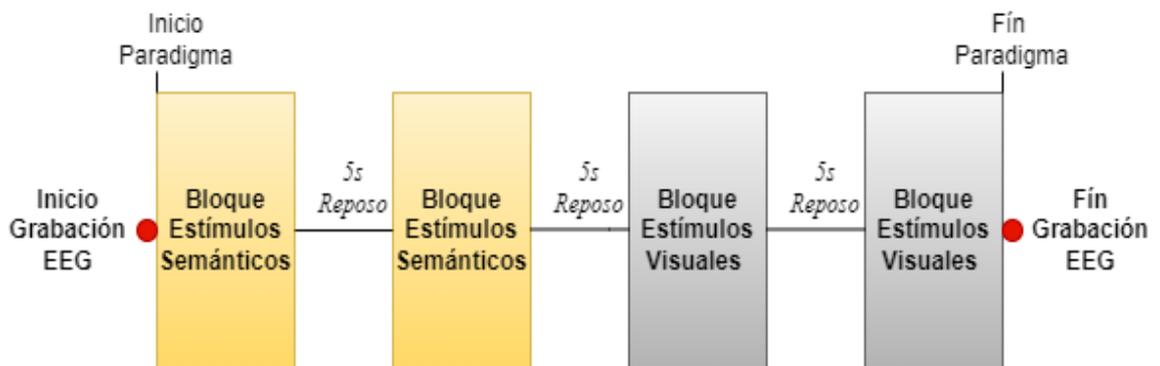
3.6.2 Evaluación cognitiva Montreal (MoCA) para valorar el estado cognitivo: Se aplicó esta herramienta publicada en 2005 por un grupo de la universidad de McGill, dicho instrumento de cribado cognitivo permitió evaluar atención, memoria, abstracción, visoconstrucción, cálculo y función ejecutiva para así incluir o excluir participantes. Las calificaciones de este instrumento consideran una puntuación mayor o igual a 26 normal, teniendo en cuenta que el máximo de puntuación es de 30 puntos, el índice de validez es de un Alpha de Cronbach de 0.85 y la confiabilidad test-retest Lin es de 0.62 (Pedraza et al., 2017). Para la investigación de igual manera se consideraron participantes únicamente que obtengan una puntuación mayor o igual a 26 puntos.

3.6.3 Paradigma de razonamiento abstracto: Este instrumento informatizado en Psychopy, validado y adaptado de las subpruebas de “semejanzas” y “conceptos con

dibujos” de la escala de inteligencia de Wechsler por Shunta Cocha et al. (2020) consta de 19 estímulos divididos en 4 bloques, los 2 primeros bloques constan de tareas de razonamiento abstracto semántico y los 2 siguientes bloques constan de estímulos de carácter visual que tienen un tiempo indefinido para su resolución. Dentro de las tareas, entre cada bloque existen periodos de reposo de 5 segundos como se muestra en la figura 6. Cada pregunta permaneció en la pantalla hasta que el sujeto decida la respuesta, que estuvo representada en el monitor y que se verifica según las teclas: “q” para las respuestas de la parte izquierda o “p” para aquellas del lado derecho.

Figura 5

Procedimiento seguido en la investigación para la toma de datos



Nota. El diagrama representa el procedimiento seguido para la adquisición de bioseñales neurológicas y para la resolución del paradigma de razonamiento abstracto.

3.6.4 Registro y grabación de datos EEG: El sistema Open BCI permitió la adquisición de bioseñales neurológicas de manera continua a través de 8 electrodos ubicados de acuerdo al sistema internacional 10-20. Se usó el casco que contiene los electrodos húmedos incrustados en su malla tipo tela denominado “electrode cap”; los canales que se utilizaron fueron los siguientes: canal 1: F3; canal 2: F4; canal 3: T7; canal 4: T8; canal 5: P3; Canal 6: P4; Canal 7: O1; Canal 8: O2 y los canales de referencia GND y REF (véase la figura 4). Para una mejor conducción se utilizó electro-gel y la interfaz software de Open BCI, los datos se registraron a una frecuencia de muestreo de 125 Hz. Se utilizaron filtros pasa banda de 1-50 Hz, además, se aplicó el filtro Notch 60 Hz para así eliminar ruido por movimientos corporales o artefactos externos. Antes de cada prueba se realizó la etapa de preamplificación, lo cual, permitió verificar la correcta adquisición de bioseñales.

3.7 Adquisición, procesamiento de señales EEG y análisis estadístico:

Para la correcta adquisición y procesamiento de señales, los tiempos de actividad y reposo fueron tomados manualmente a través de un monitor de control, esto con la finalidad de que cada actividad y reposo de los participantes puedan ser segmentados y procesados de manera adecuada. Los recortes de los archivos se realizaron mediante un código de programa escrito en Matlab, asimismo, la interfaz de OpenBCI permitió el uso de Lab Stream Layer (LSL) y Lab Recorder para recopilar y vincular sincrónicamente múltiples series de datos, de esta forma, las grabaciones disponibles en la capa de transmisión de LSL, dieron la oportunidad de guardar los archivos en formato “xdf” (Extend Disk Format), permitiendo procesarse en el entorno EEGLAB.

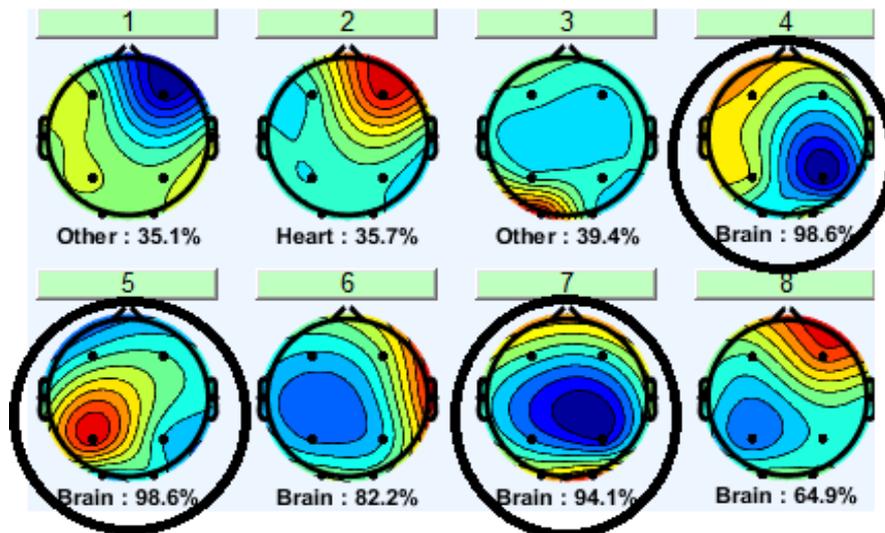
El procesamiento de datos EEG se llevó a cabo mediante el análisis de componentes independientes (ACI), esto con la finalidad de obtener las gráficas de componentes cerebrales que son representados en base al nivel de activación bioeléctrica cerebral como se mencionó en los capítulos anteriores. Para el análisis de los componentes cerebrales y para cumplir los objetivos de localización topográfica cerebral en las tareas, se analizó el “plot data” de EEGLAB, ya que nos muestra de forma visual mapas de calor que representan sectores de activación cerebral correspondiente a cada electrodo. La clasificación de los componentes se dio por medio de la evaluación de sus propiedades y el etiquetado de los mismos. Se realizó el procedimiento de cada participante, es decir de forma individual, dando así 8 gráficas, 1 por electrodo, en total se obtuvieron 160 graficas por cada bloque de los 20 participantes.

ICLABEL de Pion-Tonachini et al. (2019), ejecutable en EEGLAB permitió la selección de aquellos componentes cerebrales, este procedimiento se ejecutó con la finalidad de realizar un análisis visual y comparativo de las ubicaciones de activación cortical de cada sujeto en los periodos de resolución de tareas de razonamiento abstracto semántico, razonamiento visual y en los periodos de reposo. Cabe manifestar que las gráficas con los componentes ya sean de origen cognitivo, muscular, etc. brindan el etiquetado automático y utilizan algoritmos computacionales que son clasificados, automatizados y se basan en la probabilidad, lo cual, se han considerado únicamente

componentes cerebrales con el 90 % de confianza para verificar con mayor detalle la ubicación y los rangos de frecuencia en donde existieron cambios significativos (véase la figura 6).

Figura 6

Tipos de etiquetado con ICLABEL sin rechazar componentes.

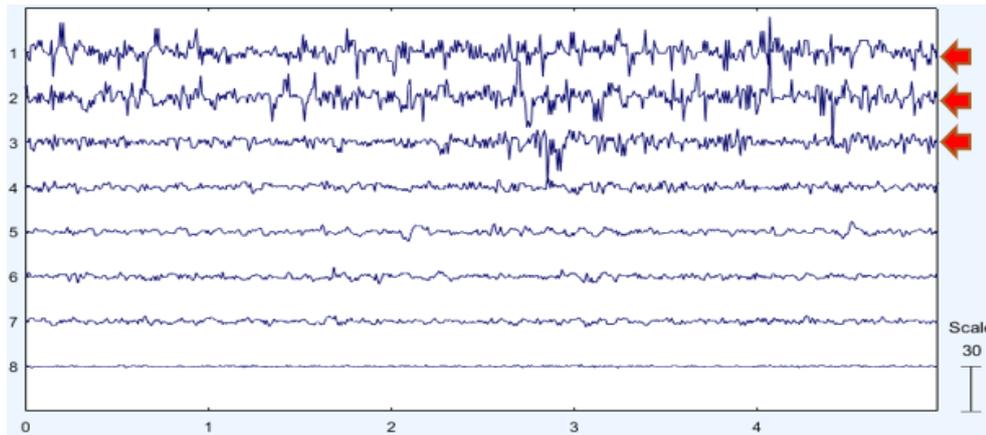


Nota. Ejemplo de componentes cerebrales mediante el etiquetado con ICLABEL

Una vez etiquetados se procedió a rechazar los componentes que no sean cognitivos y que de manera visual se identificaron como negativos; mediante el “data scroll” cuya función permitió visualizar los registros, se realizó el análisis respectivo, de esta forma en el registro de los 8 canales de un participante como se muestra en la figura 7, podemos observar que el canal 1 y 2 correspondiente a los canales frontales, y el canal 3 perteneciente al canal parietal izquierdo muestran artefactos negativos contaminados que podrían afectar negativamente el análisis de las bioseñales.

Figura 7

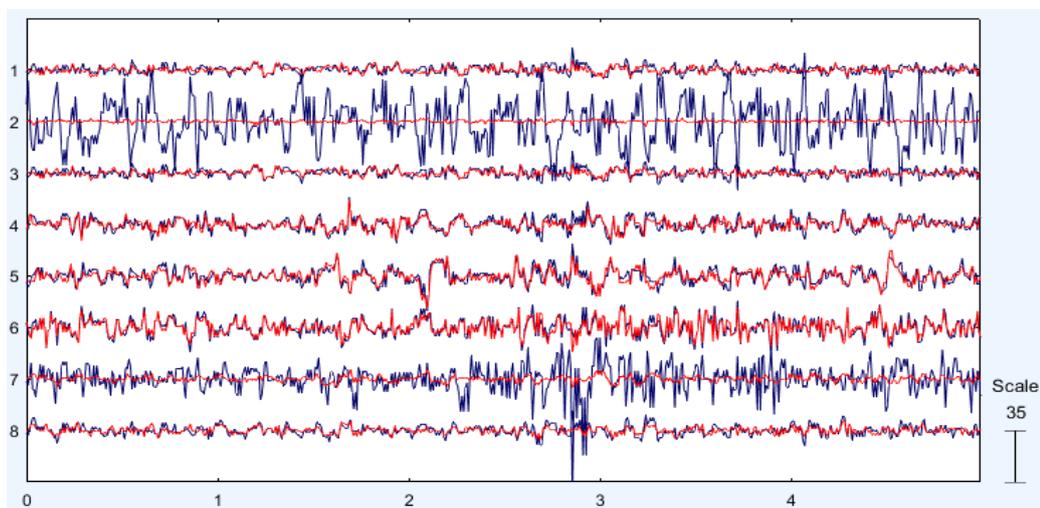
Datos de registro EEG de un participante para evaluar componentes



Nota. Datos EEG corresponden a cada canal para identificar artefactos. Los números en la escala X que se ubican horizontalmente en la parte inferior de la imagen hacen referencia al tiempo del registro que es medido en segundos. Los números en la escala Y que se muestran de forma vertical y que se presentan en la parte lateral izquierda de la imagen representan los 8 canales. Las flechas muestran los canales con artefactos negativos.

Al remover los canales se realizó nuevamente el análisis del “data scroll” de los componentes rechazados; en la figura 8 se logra observar que las señales mejoraron sustancialmente, este procedimiento permitió la identificación de componentes indeseados, debido a que se conoce que la actividad eléctrica cerebral no es estacionaria, sino que permanece en constante cambio.

Figura 8



Datos EEG de un participante después de eliminar artefactos

Nota. Señales después de remover los artefactos por medio del etiquetado. Las señales con color azul representan la actividad con artefactos negativos tal como se evidencian en los

canales 2, 7 y 8. Las señales con color rojo simbolizan a la actividad después de remover artefactos, como se evidencia la señal mejora significativamente en los canales 2,7 y 8.

Por otra parte, para cumplir con el objetivo de las frecuencias implícitas en los bloques de actividad, se realizó un análisis de todos los participantes, para ello, se cambió el formato de los archivos a .set para así posteriormente tener un solo archivo denominado: "STUDY", que engloba todos los archivos segmentados y que pueden ser organizados en base al número de sujetos, número de condiciones por bloques, número de sesiones y número de grupos. Con los archivos cargados, EEGLAB da la opción de aplicar estadística inferencial no paramétrica de acuerdo a las condiciones. Para esto el análisis se realizó mediante la opción "Bootstrap" basado en remuestreo, para que así automáticamente se dupliquen los mismos datos de las condiciones y se mezclen repetidamente para calcular la diferencia entre las 2 condiciones (semántico, visual). Entonces, se logró obtener una distribución de la diferencia y a su vez se verificó el rango de frecuencia en el que se muestra diferencia significativa a través de la hipótesis nula: "no hay diferencia entre la actividad eléctrica cerebral y las áreas frontoparietales y temporo-parieto-occipitales en las tareas de razonamiento visual y semántico".

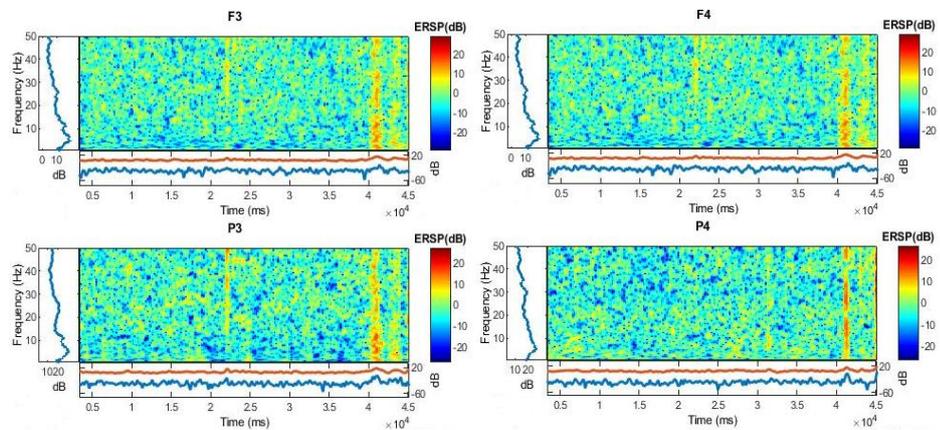
Debido al análisis tanto de los canales frontales, temporales, parietales y occipitales se evidenció diferencias significativas sobre los canales mencionados, rechazando así la hipótesis nula de la presente investigación puesto que si se evidenciaron diferencias sobre los distintos rangos de frecuencia. Para alcanzar lo mencionado se utilizó parámetros de estadística inferencial por medio de la distribución de densidad de probabilidad a través de muestro aleatorio y por medio del remuestreo computacional de los mismos datos obtenidos en EEGLAB.

Para evaluar la diferencia se tomó en cuenta la cola superior mayor o igual a 97,5% que es significativo en $p=0,05$ para la inferencia estadística de los 20 sujetos en todos los bloques para verificar la diferencia significativa en una o varios rangos de frecuencia, para ello, se analizaron los canales de forma individual en base a los parámetros establecidos del rango de frecuencia (0,5 Hz- 50 Hz) ya que engloban las ondas Delta, Theta, Alfa, Beta y Gamma. Por último, en cada participante se analizó por medio del espectrograma los

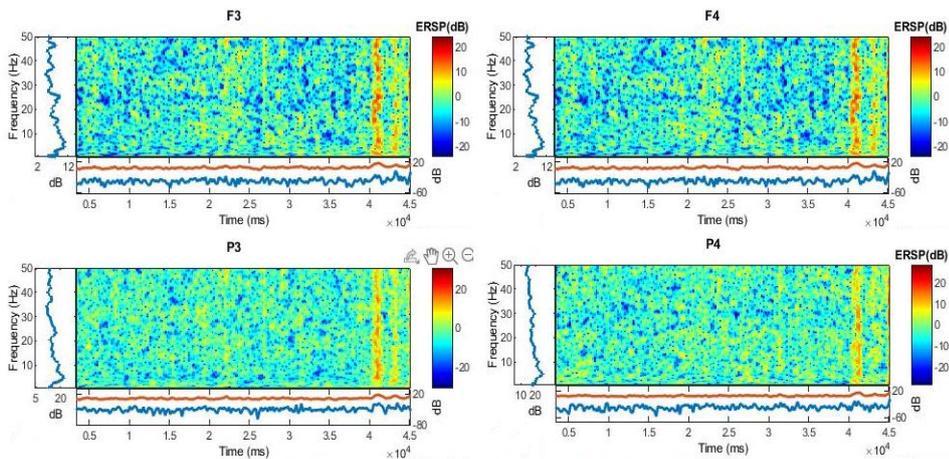
canales fronto-parietales (véase la figura 9) de manera separada tanto en periodos de actividad visual y semántica, para revelar la distribución de la potencia de aquellas señales en las diferentes bandas de frecuencias.

Figura 9

Análisis de propiedades de cada canal con/sin artefactos



A) Análisis de espectrograma sin eliminar artefactos.



B) Análisis de espectrograma con artefactos removidos

Nota. F3 corresponde al electrodo ubicado en el lóbulo frontal del hemisferio izquierdo. F4 corresponde al electrodo frontal ubicado en el hemisferio derecho. P3 representa el electrodo ubicado en el lóbulo parietal del hemisferio izquierdo y P4 al electrodo parietal del hemisferio derecho. ERSP es la perturbación espectral relacionada con eventos y es medida en base a decibelios (dB). En la figura se logra evidenciar un mejor trazado de señal cuando los artefactos se han removido sobre todo en los canales frontales F3, F4.

3.8 Ética de la investigación

Desde la perspectiva de la investigación con seres humanos se evitó fraude científico, manipulación de los datos obtenidos, plagio y falsificación de la investigación. Asimismo fueron tomados en consideración los principios éticos de la convención de Helsinki (Manzini, 2000). Para garantizar la integridad de los participantes se utilizó un Consentimiento Informado con la finalidad de que el paciente acceda a su participación voluntaria en el estudio, preservando la privacidad y confidencialidad de aquella información personal brindada por los sujetos.

Capítulo Cuatro

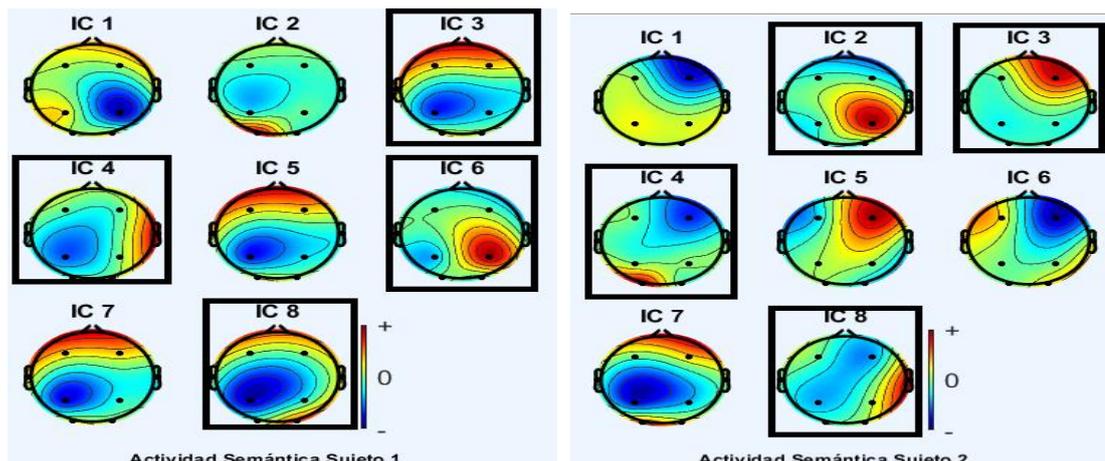
4. Resultados

Los resultados obtenidos en la investigación son presentados a continuación mediante gráficos que ilustran el cumplimiento de cada objetivo propuesto. Por una parte, la distribución de los participantes se basó en variables sociodemográficas, en este sentido de los 20 participantes en el estudio, 12 pertenecieron al sexo femenino que representan al 60% y el 40% restante corresponde a sujetos de sexo masculino. La media de la edad en la investigación fue de $\bar{X}=23,65$ años.

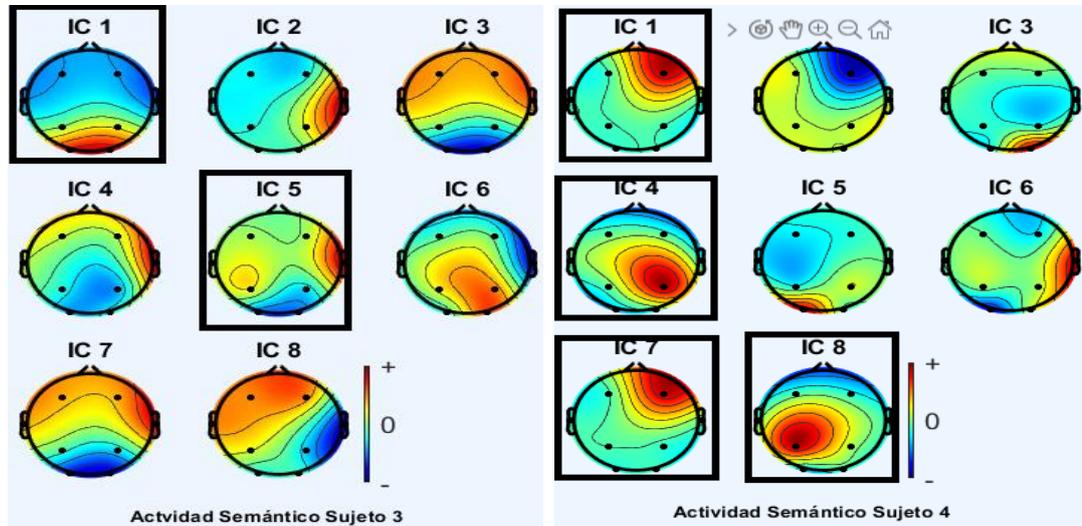
Para dar cumplimiento a los objetivos de la localización topográfica en activación en la resolución de tareas semánticas y visuales en los 20 participantes, se utilizó el análisis de componentes independientes para la obtención de información de los 8 canales. En primera instancia, se realizó mediante ICLABEL el etiquetado de los distintos componentes con el 90% de probabilidad; se obtuvieron gráficas individuales de cada canal utilizado en el presente estudio, de esta forma, al existir componentes que no son significativos y que representan actividad negativa y contaminada como movimientos musculares, movimientos oculares, etc. se tomaron en consideración únicamente a los componentes cerebrales.

4.1 Localización topográfica de zonas de activación cerebral en tareas semánticas

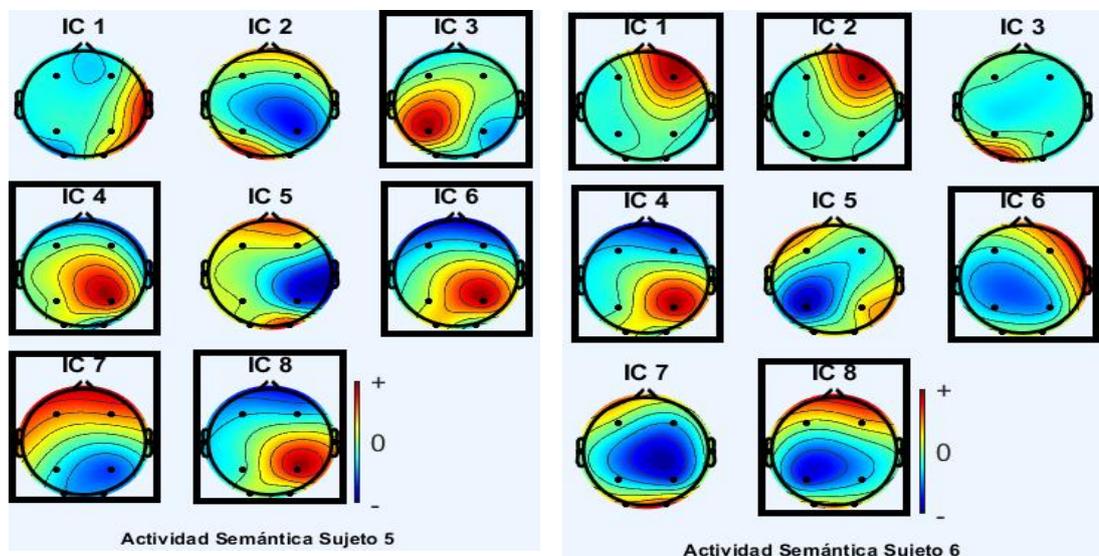
En la resolución de las tareas semánticas, el sujeto 1 muestra que la activación fue frontal bilateral, parietal y temporal derecha. Por otra parte, en el sujeto 2 la activación se encontró en el electrodo ubicado en el lóbulo temporal, parietal y frontal derecho (T8, P8, F4), así como en actividad en el lóbulo occipital correspondiente al electrodo izquierdo O1.



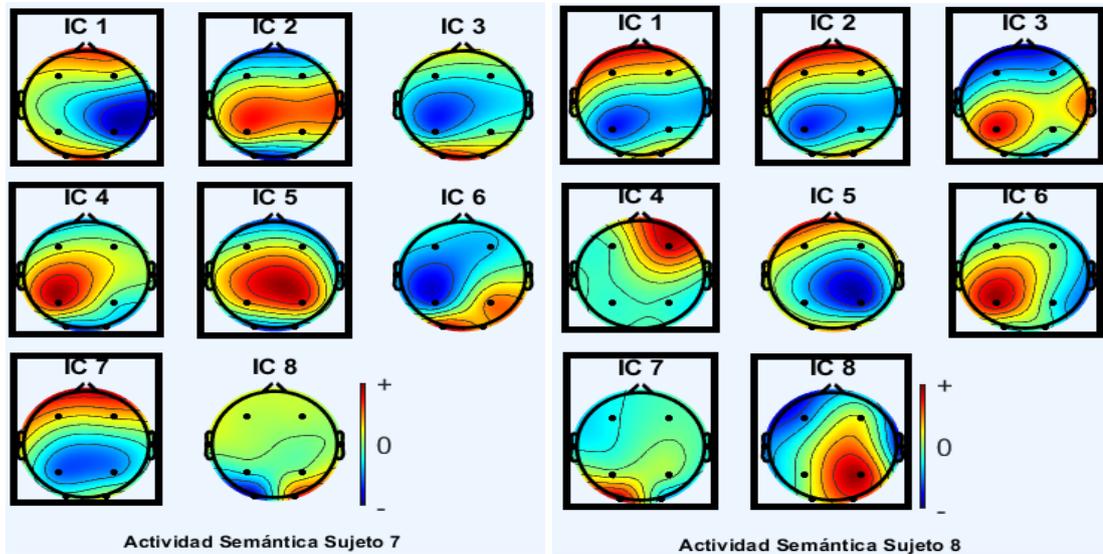
En el sujeto 3 se logra observar activación en el electrodo T8 que corresponde al hemisferio derecho del lóbulo temporal, así como activación bilateral del lóbulo occipital (O1, O2). El sujeto 4, por otra parte, muestra mayor actividad frontal derecha F3 y actividad parietal bilateral P3, P4.



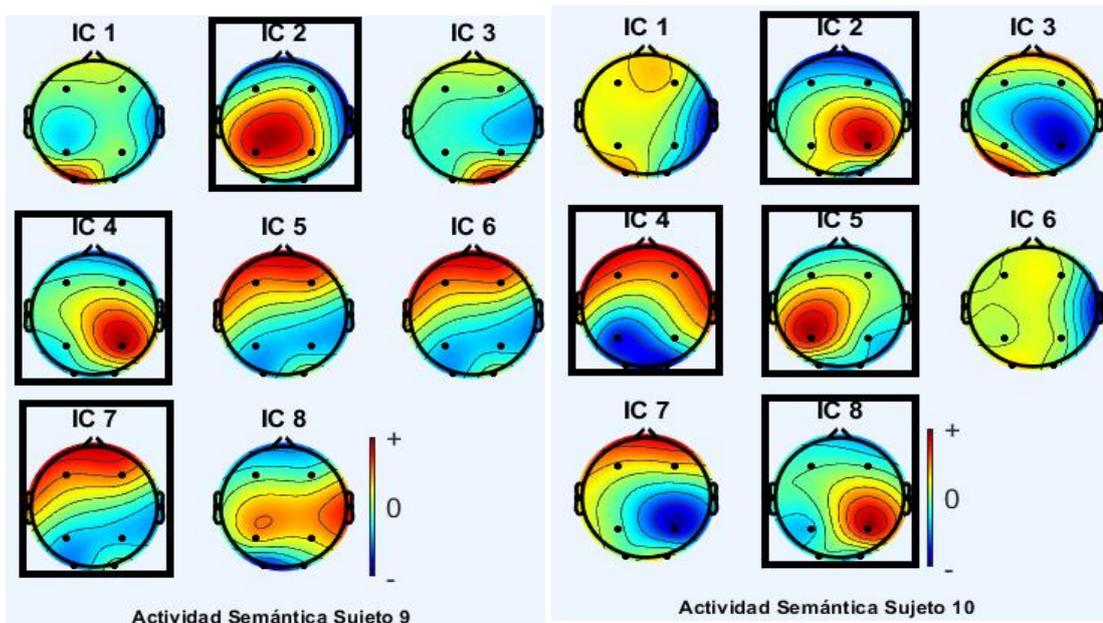
En el sujeto 5 se logra observar activación parietal correspondiente tanto del hemisferio izquierdo y derecho P3, P4 así como en sectores frontales F3, F4. En el sujeto 6 la activación frontal fue derecha e izquierda aunque estuvo presente también actividad a nivel parietal P4 y temporal T8 correspondiente al hemisferio derecho. Aunque menor se puede observar activación de sectores occipitales.



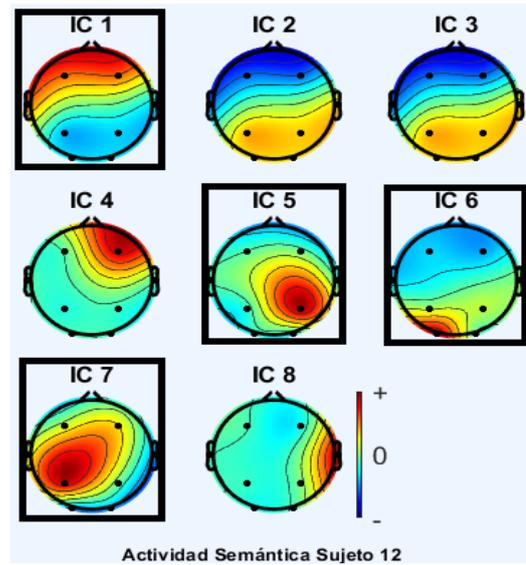
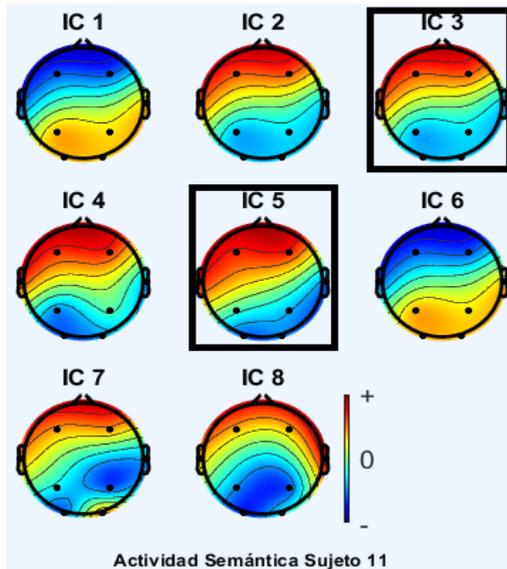
En el sujeto 7 se logra observar mayor actividad en sectores frontales, parietales y occipitales bilaterales. Así también, el sujeto 8 presentó mayor actividad en sectores frontales y parietales bilaterales F3, F4, P3, P4.



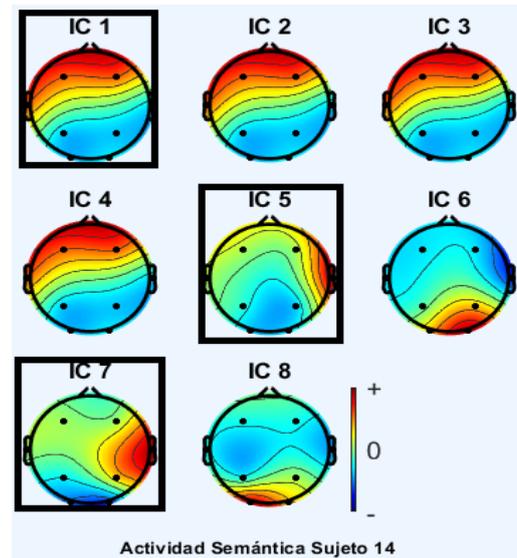
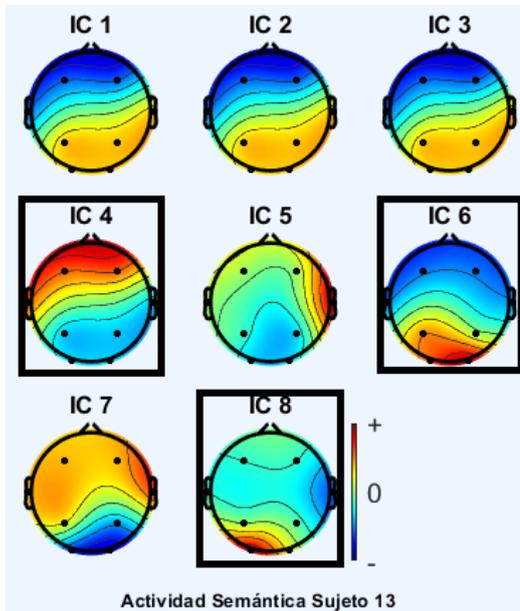
De similar manera en el sujeto 9 y 10 la mayor actividad se presentó en sectores topográficos cerebrales correspondientes a los lóbulos frontales y parietales de ambos hemisferios cerebrales (F3, F4, P3, P4).



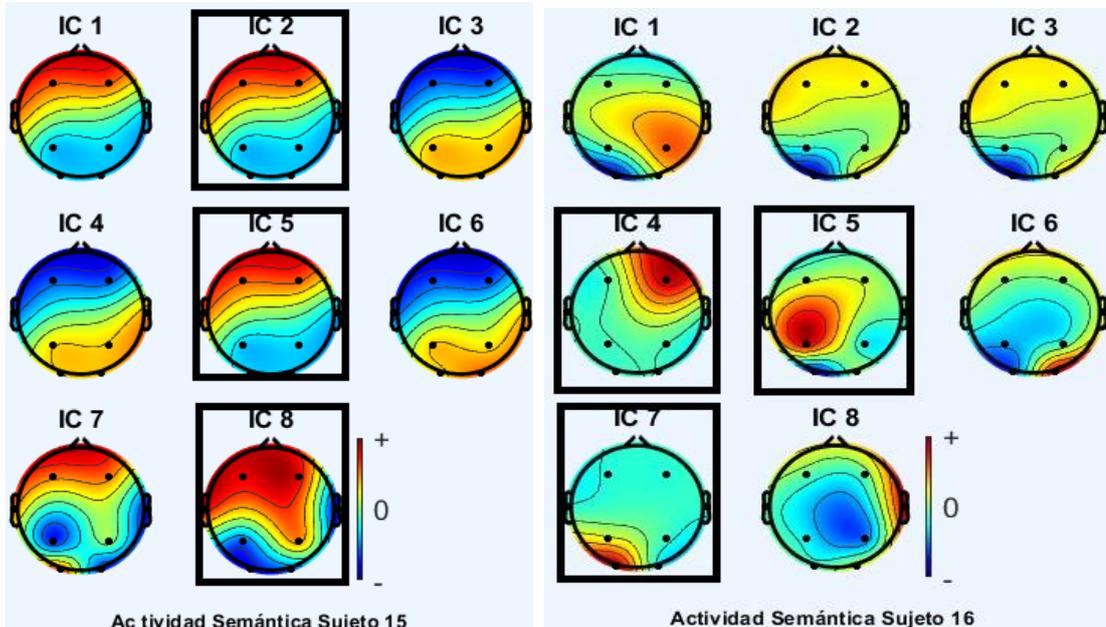
En el sujeto 11 muestra mayor actividad en los canales frontales F3, F4 mientras que el sujeto 12 de igual manera mostró actividad más significativa en los canales parietales P3, P4 y O1 correspondiente al hemisferio izquierdo del lóbulo occipital.



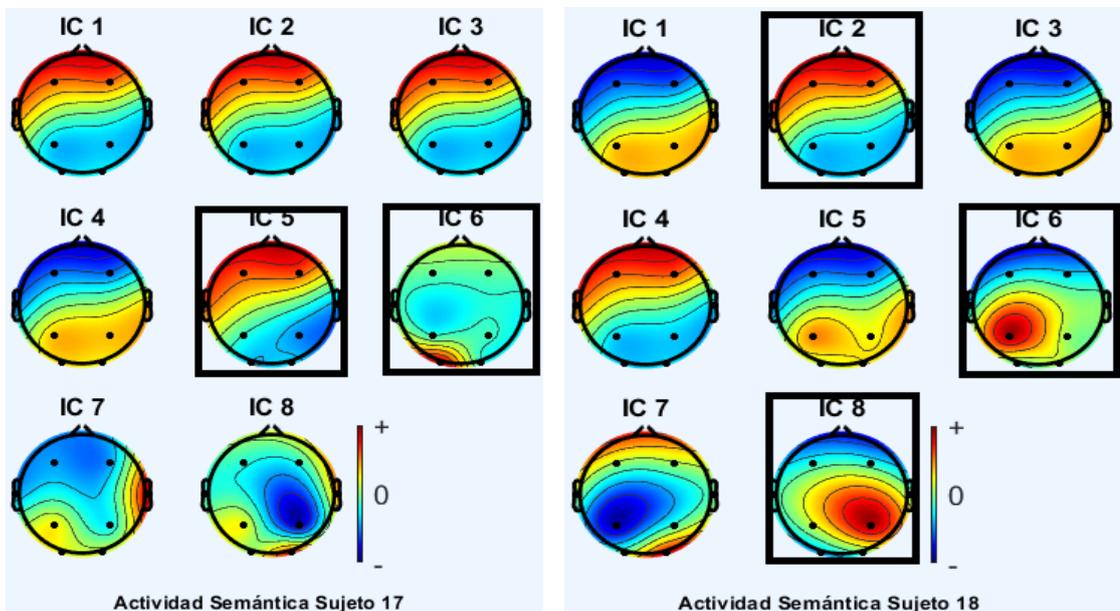
La actividad en el sujeto 13 fue en sectores occipitales O1, O2, aunque la mayor activación está en sectores frontales bilaterales F3, F4. En cambio, en el sujeto 14 la activación se encontró en el hemisferio derecho del lóbulo temporal y frontal bilateral.



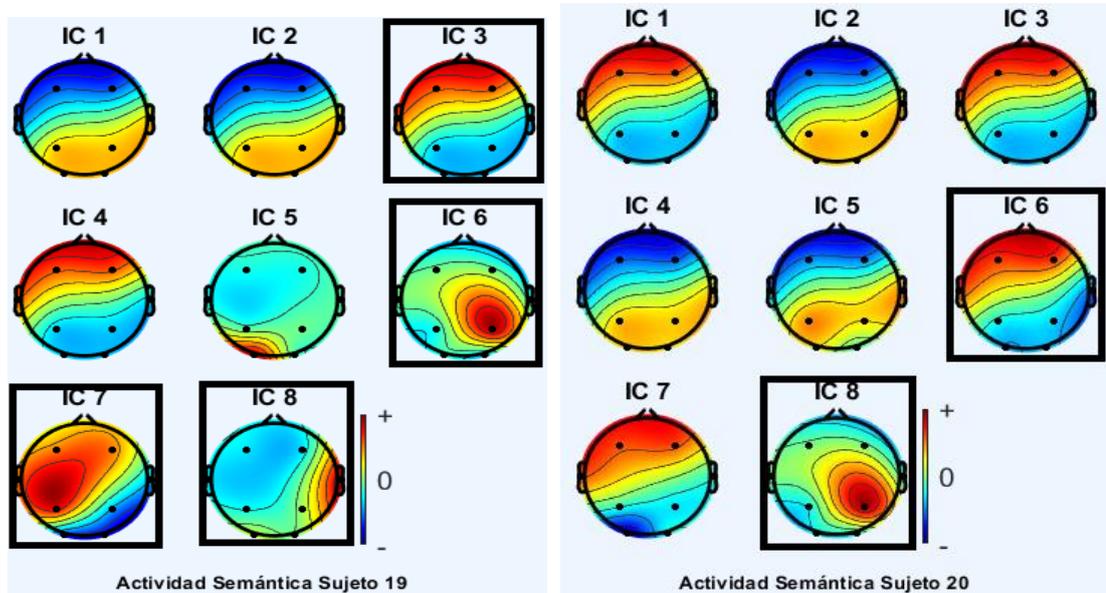
La actividad en el sujeto 15 en el desenvolvimiento de tareas semánticas fue en sectores izquierdos y derechos del lóbulo frontal (F1, F2); En cambio en el sujeto 16, la activación mayor fue en sectores frontales y occipitales pertenecientes al hemisferio derecho (T7, O1) y parietal izquierdo P3.



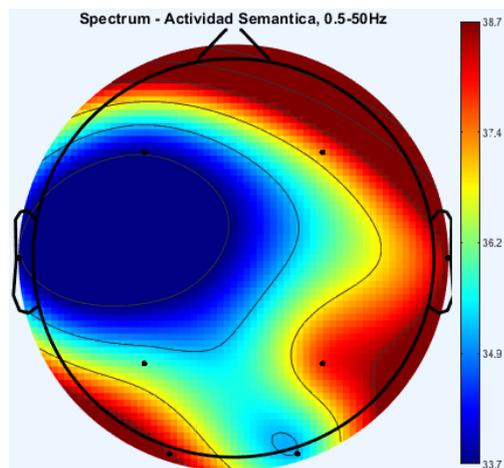
La actividad en el sujeto 17 y 18 fue en sectores frontales bilaterales (F3, F4), asimismo el sujeto 17 mostro actividad en áreas occipitales pertenecientes al hemisferio izquierdo (O1) en cambio el sujeto 18 mostro actividad en sectores parietales derechos e izquierdos (P3, P4).



El sujeto 19 mostró mayor activación en sectores frontales y parietales bilaterales F3, F4, así como activación del hemisferio derecho perteneciente a zonas temporales. En el sujeto 20 existió mayor activación de sectores frontales bilaterales y parietal correspondiente al hemisferio derecho.

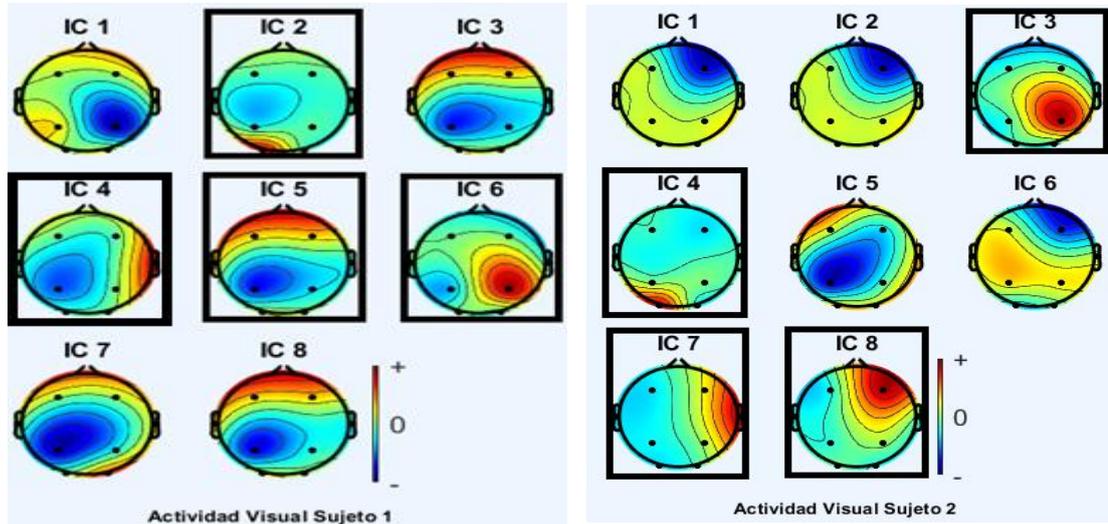


Al realizar un análisis de todos los participantes se logró obtener la siguiente gráfica que representa la actividad bioeléctrica neurológica en la resolución de tareas de razonamiento abstracto semántico, por lo cual, se logra observar mayor activación de sectores frontales bilaterales, aunque con mayor intensidad en el hemisferio derecho, activación parietal y temporal con mayor predominio sobre el hemisferio derecho así como activación occipital del hemisferio izquierdo.

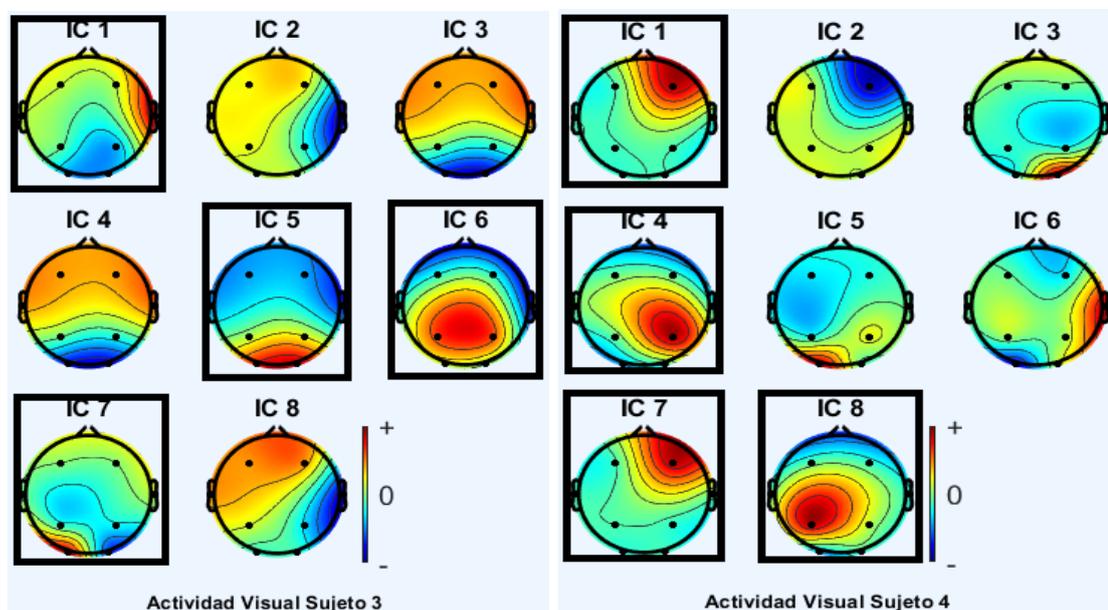


4.2 Localización topográfica de zonas de activación cerebral en tareas visuales

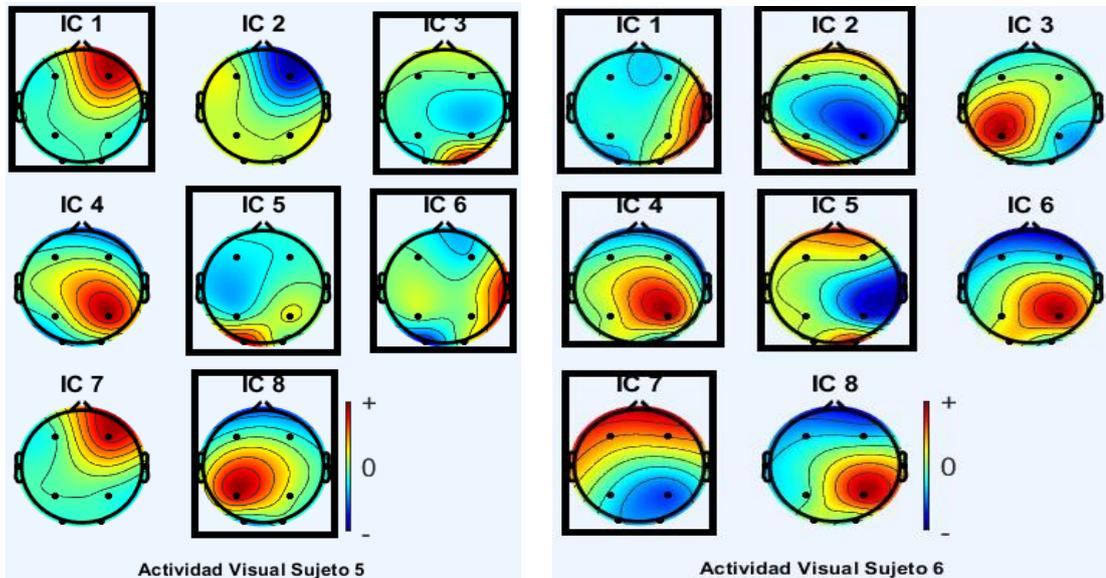
Se presentan las gráficas de actividad de los 20 participantes para así establecer las zonas de activación eléctrica cerebral en las tareas de razonamiento abstracto visual. En el sujeto 1 y 2 la activación fue similar en sectores occipitales correspondientes al hemisferio izquierdo (O1) y sobre sectores temporales y parietales del hemisferio derecho (P4, T8). La diferencia de actividad entre los 2 participantes fue que en el primero tuvo activación de sectores frontales bilaterales (F3, F4).



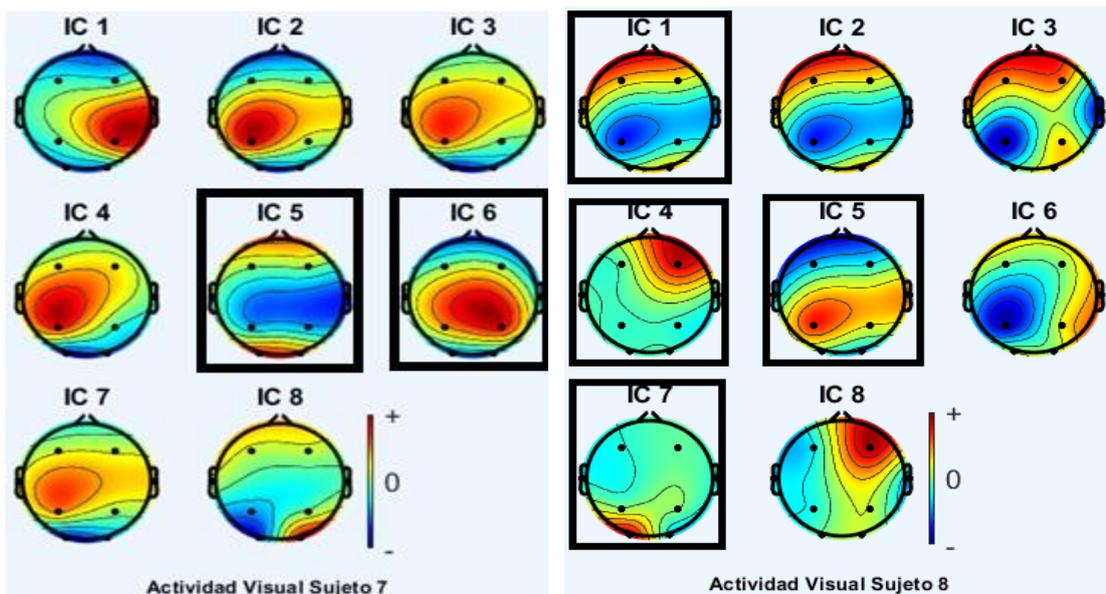
En el sujeto 3 la activación mayor está en sectores temporales derechos T4 y parietales occipitales bilaterales (P3, P4, O1, O2). En cambio, el participante 4 mostró mayor actividad de sectores frontales correspondientes al hemisferio izquierdo, de similar manera la activación también se mostró en sectores parietales bilaterales.



La activación en el sujeto 5 fue mayor en áreas frontales y temporales pertenecientes al hemisferio derecho (F4, T8), parietal izquierdo P3 y occipital bilateral (O1, O2). En el sujeto 6 la actividad se mostró mayor en sectores frontales y occipitales bilaterales (F3, F4, O1, O2), además, muestra actividad en el área temporal y parietal derecha (T8, P4).

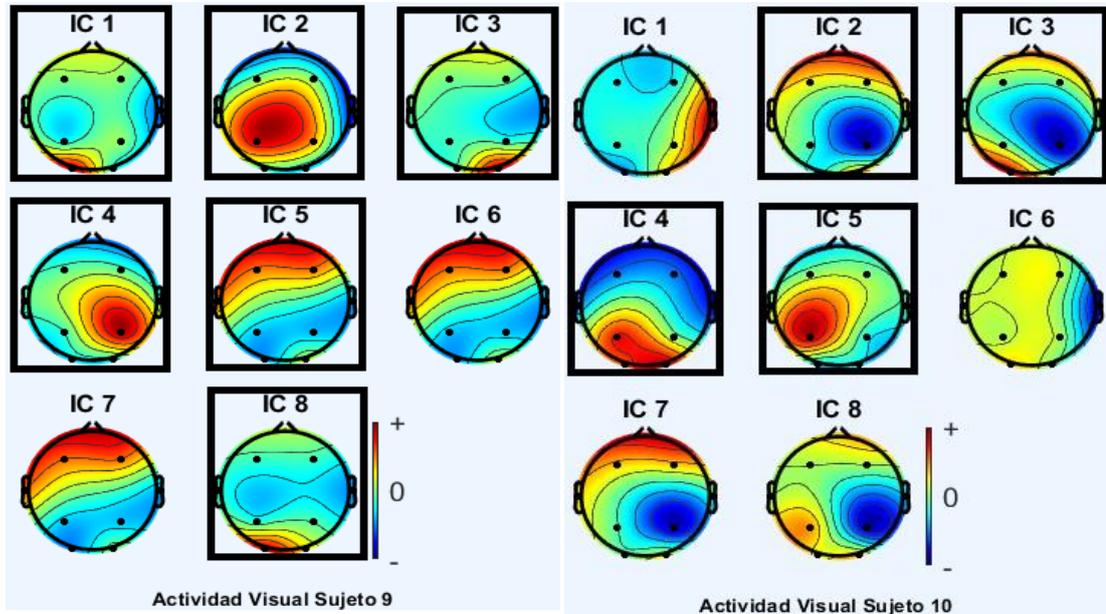


El participante número 7 mostró actividad bilateral a nivel parietal y occipital, mientras que el sujeto 8 muestra activación de sectores frontales bilaterales, y en sectores pertenecientes al hemisferio izquierdo de los lóbulos parietal y occipital (P3, O1).

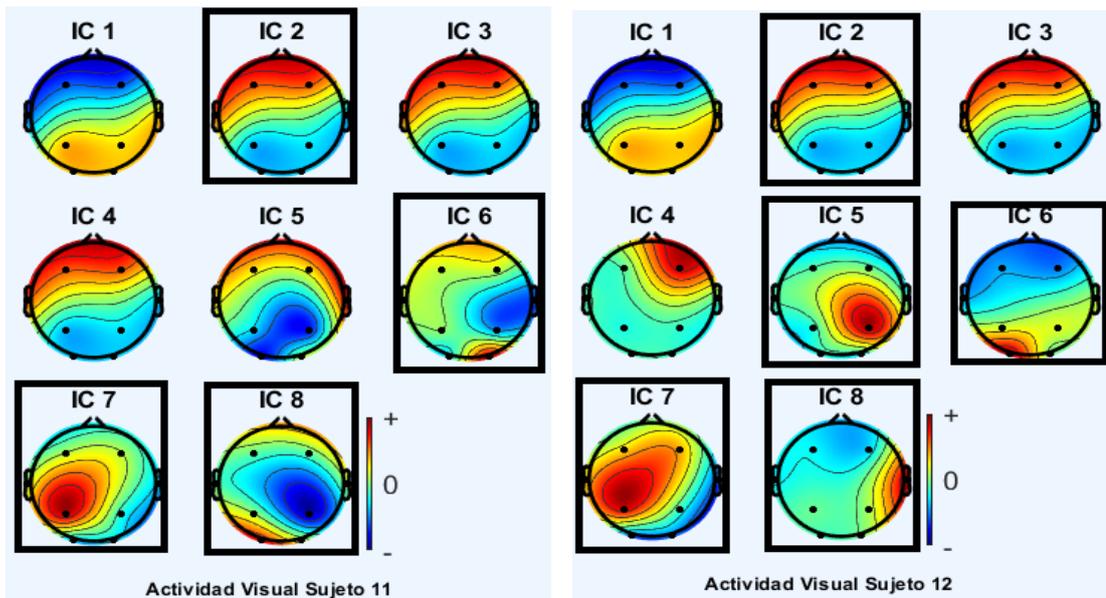


En el sujeto 9 la activación estuvo en sectores frontales y parietales bilaterales (F3, F4, P3, P4) y en zonas occipitales pertenecientes al hemisferio izquierdo (O1). En el participante 10

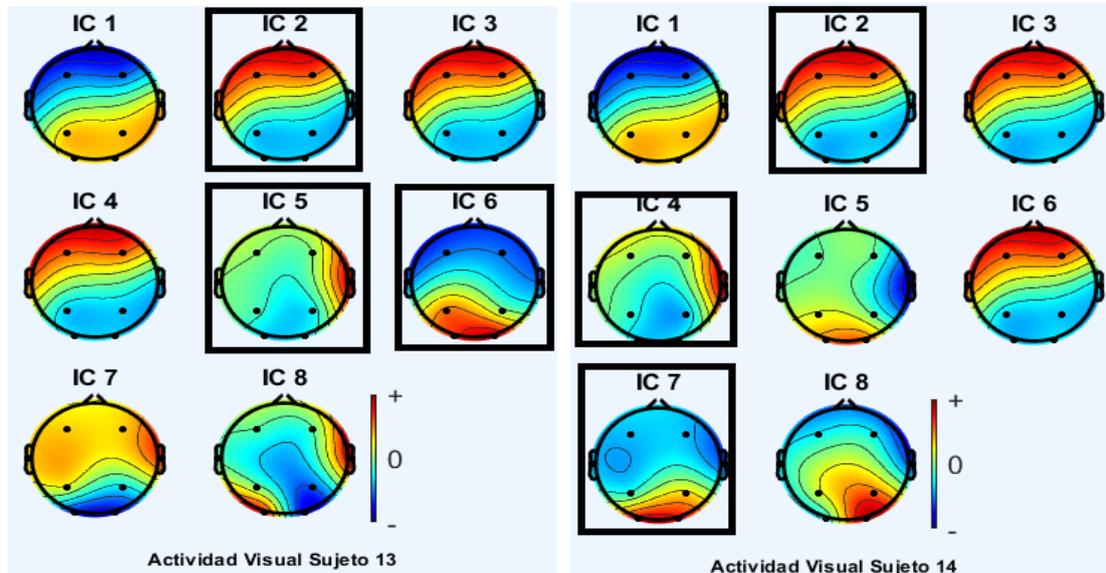
se muestra actividad bilateral frontal y occipital (F3, F4, O1, O2) y sobre sectores parietales del hemisferio izquierdo (P3).



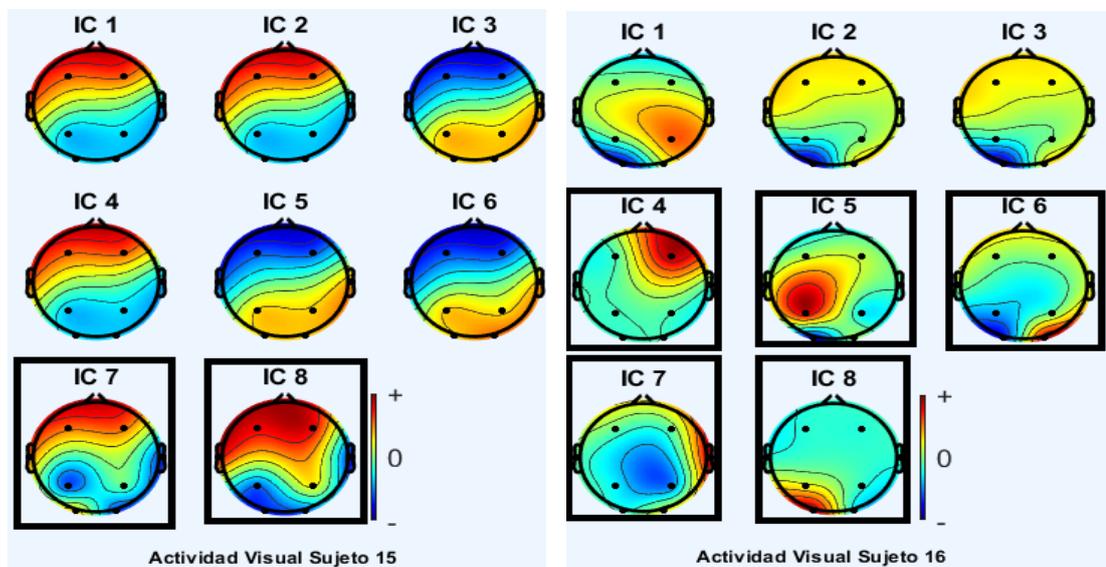
La activación en el sujeto 11 y 12 fue similar puesto que existió activación bilateral en los sectores frontales y occipitales (F3, F4, O1, O2) y existió mayor actividad de zonas parietales izquierdas (P3) de dichos participantes.



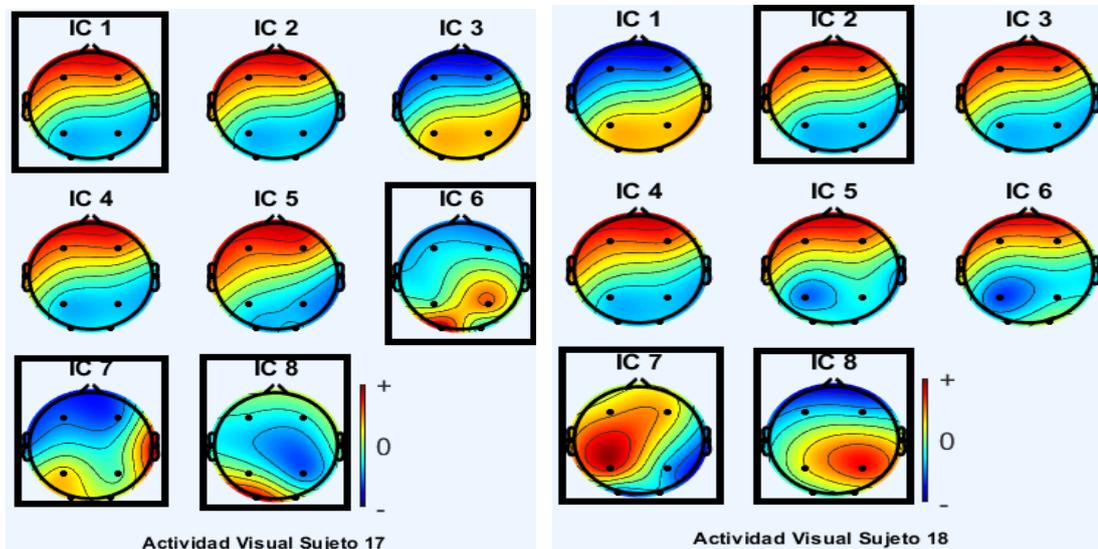
Igualmente, la actividad de los sujetos 13 y 14 fue similar en sectores frontales y occipitales bilaterales (F3, F4, O1, O2), asimismo, se logra evidenciar actividad en el hemisferio derecho perteneciente al lóbulo temporal (T8).



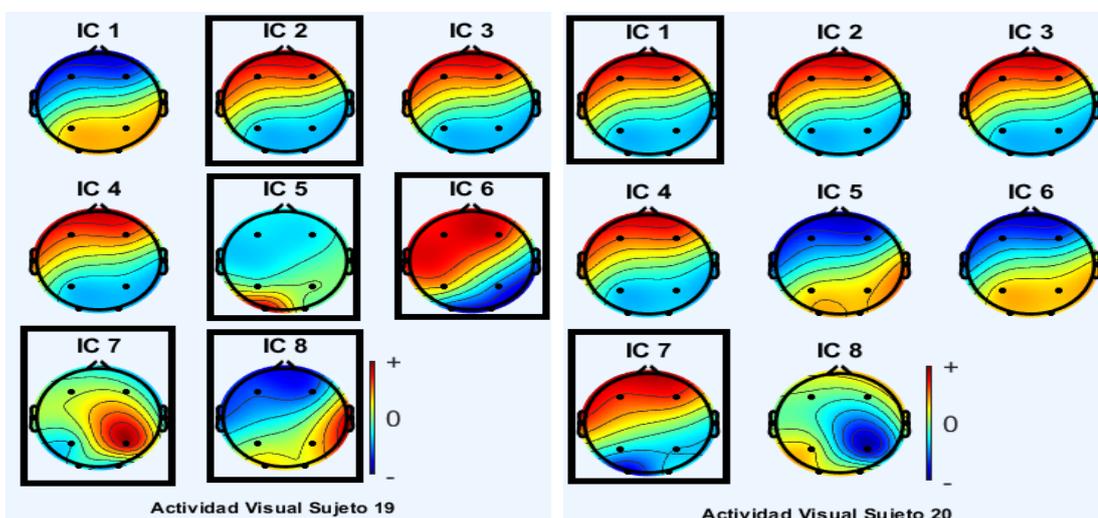
El sujeto 15 mostró mayor actividad a nivel frontal bilateral (F3, F4), por otra parte, el participante 16 mostró mayor actividad frontal y temporal en el hemisferio derecho (F4, T8), asimismo, se logra evidenciar actividad a nivel parietal izquierdo (P3) y occipital tanto izquierdo (O1), así como derecho (O2).



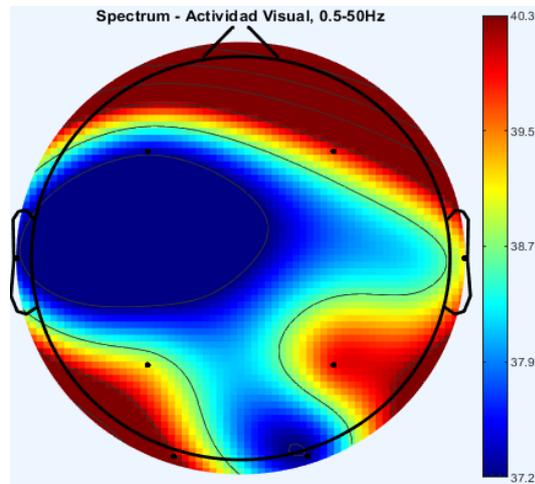
La actividad en el sujeto 17 fue mayor a nivel frontal bilateral (F3, F4) así como mayor actividad parietal en el hemisferio izquierdo y derecho (P3, P4), al igual que sectores topográficos occipitales pertenecientes al hemisferio izquierdo (O1). En el individuo 18 la actividad mayor estuvo implícita de igual manera en sectores frontales bilaterales (F3, F4) y sectores parietales correspondientes tanto al hemisferio izquierdo, así como derecho (P3, P4).



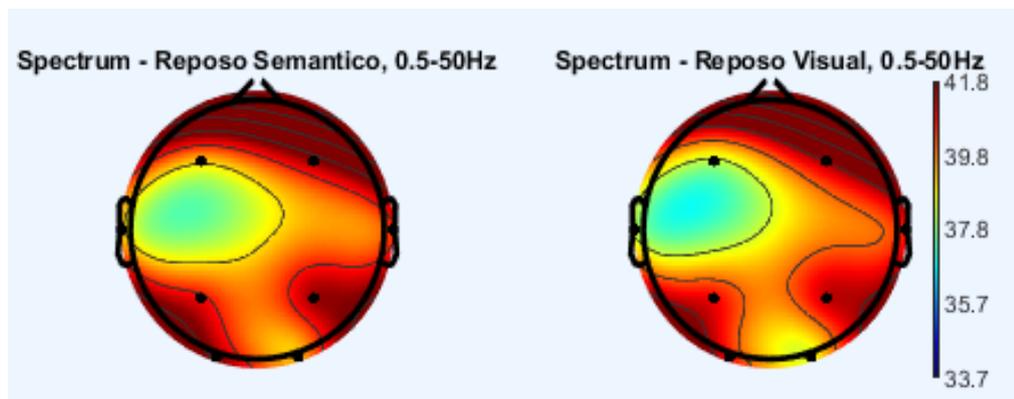
Con respecto al participante 19 la actividad estuvo implícita en sectores frontales bilaterales (F3, F4), sectores temporales izquierdos y derechos (T7, T8), así como en sectores parietales pertenecientes al hemisferio derecho. El participante 20 tuvo mayor actividad en el sector frontal derecho (F4), temporal derecho (T8), parietal izquierdo (P3), así como actividad izquierda y derecha del lóbulo occipital (O1, O2).



Al realizar el análisis de los 20 participantes, se puede observar que las tareas de razonamiento abstracto visual, tienen un mayor índice de activación a nivel frontal y parietal bilateral (F3, F4, P3, P4), asimismo, se logra visualizar presencia de actividad sobre el lóbulo occipital correspondiente al hemisferio izquierdo O1 y actividad sobre el lóbulo temporal del hemisferio derecho T8.



Con respecto a los periodos de reposo se logró evidenciar que no existieron diferencias significativas en la actividad bioeléctrica cerebral, sin embargo, llama la atención que los bloques de reposo no guardan diferencias en función de las condiciones: semántico-visual. En la imagen se logra observar que la frecuencia que más se alcanzó fue de 41,8 Hz mientras que para la frecuencia con menor rango fue de 37,8 Hz. En función de los sectores con mayor actividad se evidencia actividad bilateral en los lóbulos frontal, parietal y occipital (F3, F4, P3, P4, O1, O2). Así como actividad de sectores temporales correspondientes al hemisferio derecho.



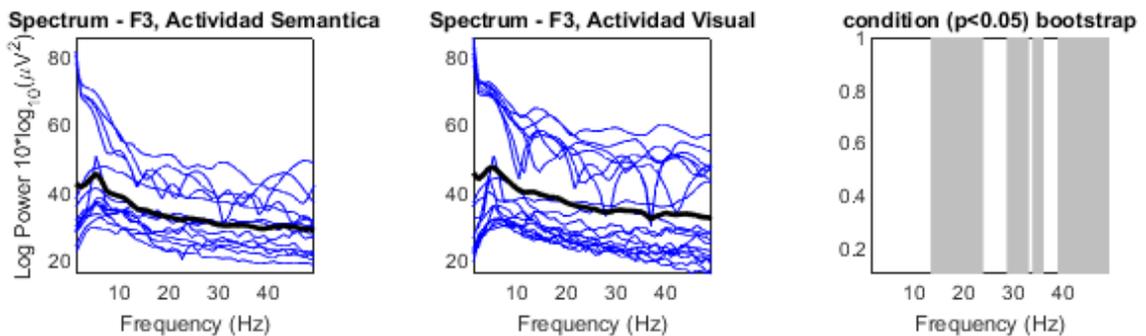
4.3 Rangos de frecuencia en tareas semánticas y visuales

Para dar cumplimiento al objetivo de identificar el tipo de ondas cerebrales con mayor implicación en el grupo de sujetos se analizó de forma individual los canales frontales y parietales en las tareas razonamiento, así también, se identificará las diferencias significativas surgidas en el espectro de potencia a través de los distintos tipos de frecuencia.

Como se puede observar en los canales frontales, por su parte, en la gráfica del canal F3 de los 20 participantes, se tiene diferencias significativas en la actividad visual en la banda de frecuencia Beta de entre 13 y 24 Hz, así también en la banda de frecuencia Gamma en el rango de 25 y 50 Hz (véase en la figura 7).

Figura 7

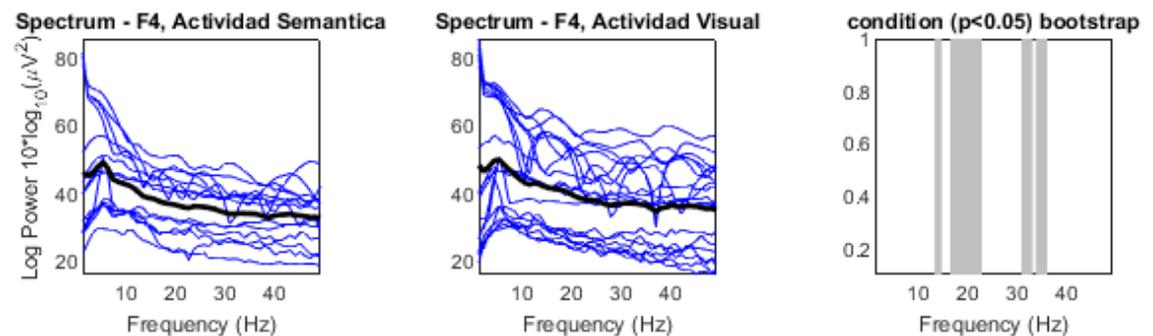
Canal F3 en actividades semánticas y visuales



En la gráfica del canal F4 se observa diferencias significativas en la banda de frecuencia Beta en los rangos de entre 19 y 20 Hz, y ondas Gamma de entre 30 y 35 Hz (véase la figura 8).

Figura 8

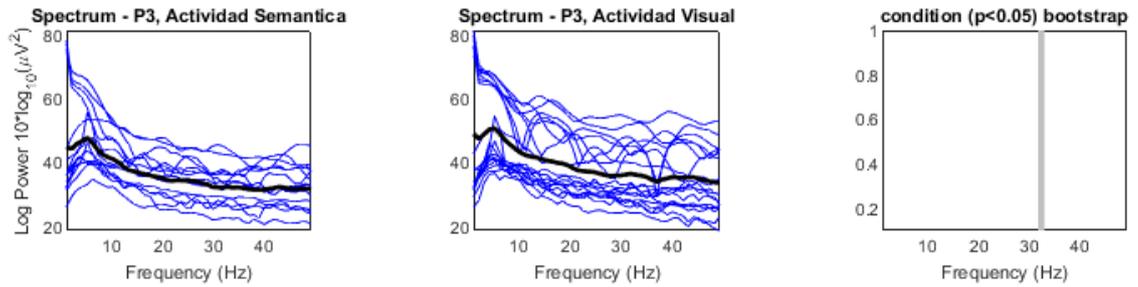
Canal F4 en actividades semánticas y visuales



En el canal parietal izquierdo P3 de los 20 participantes, aunque con menor significancia se encontraron diferencias únicamente en la banda de frecuencia Gamma 32 Hz (véase la figura 9).

Figura 9

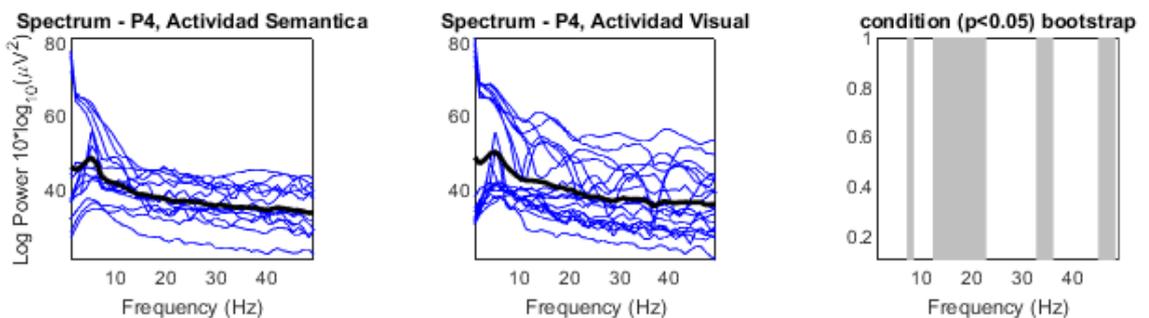
Canal P3 en actividades semánticas y visuales



El canal parietal derecho P4 se encontraron diferencias significativas en los rangos de entre los 13 y 22 Hz correspondientes a las ondas Beta. Aunque con menor significancia, pero presentes se hallaron diferencias en la banda de frecuencia Alfa 8 Hz y Gamma 33 y 45 Hz (véase la figura 10).

Figura 10

Canal P4 en actividades semánticas y visuales

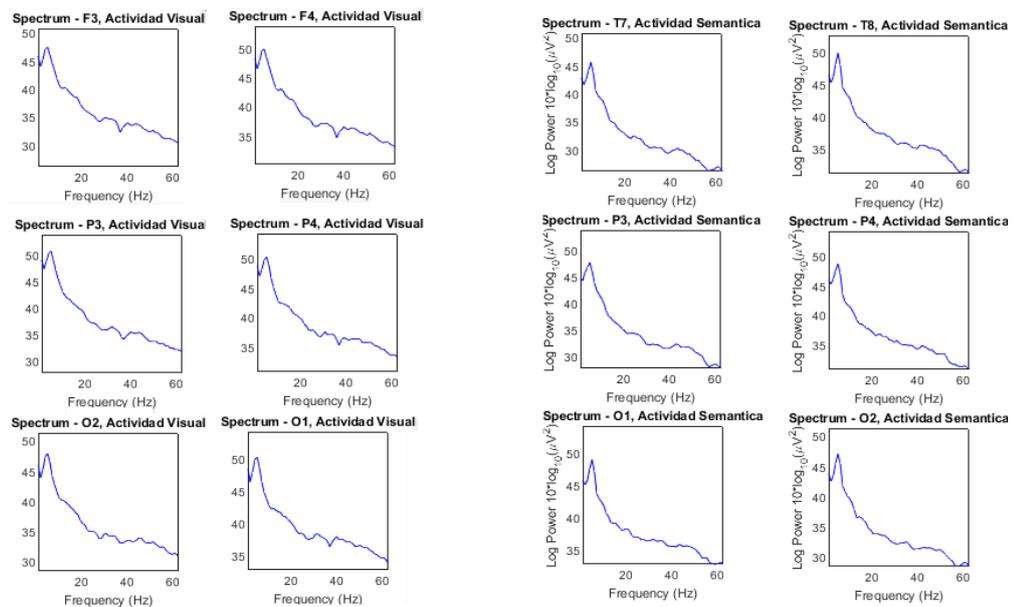


De acuerdo al análisis, la frecuencia Beta 13-24 Hz fue el rango más alto en el canal frontal izquierdo F3, aunque la presencia de dichas ondas alcanzó el menor rango de 13 Hz y el mayor de 24 Hz en los canales frontal derecho F4 y parietal derecho P4. En estos mismos canales a excepción del parietal derecho P4, en todos estos canales estuvo presente la frecuencia Gamma, con el rango de menor de 25 Hz y el mayor de 50 Hz.

A continuación, se muestra en la figura 11 que en las tareas de razonamiento abstracto visual la onda alcanza mayor rango de potencia sobre los lóbulos frontal, parietal y occipital bilateral. Por otro lado, con respecto a las tareas de razonamiento abstracto semántico, la actividad bioeléctrica cerebral mostró menor rango de potencia de la onda sobre los lóbulos temporal, parietal y occipital bilateral, lo cual, se confirma la hipótesis de la presente investigación Hi: A mayor actividad eléctrica fronto-parietal y occipital en la realización de tareas de razonamiento abstracto visual, menor la actividad eléctrica temporo-parieto-occipital en tareas de razonamiento abstracto semántico.

Figura 11

Actividad visual frontal, parietal, occipital y semántica temporal, parietal y occipital

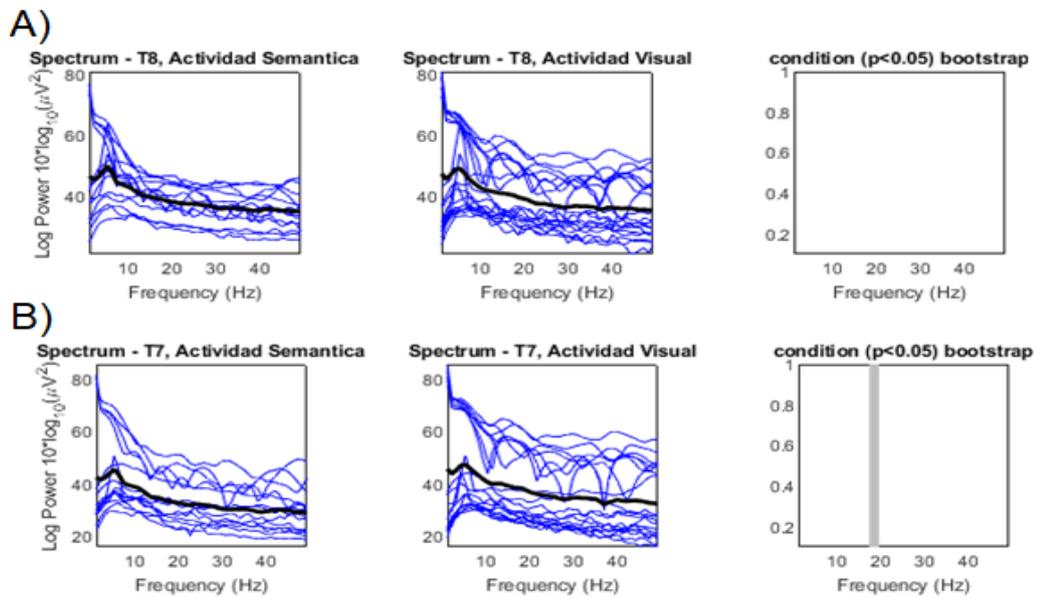


Nota. Las tareas de orden visual alcanzan una mayor potencia de la señal en los rangos de frecuencia 0,5-50 Hz en los canales frontales, parietales y occipitales a comparación de los canales temporales, parietales y occipitales de las actividades semánticas.

En cuanto a los canales ubicados en los lóbulos temporal y occipital (T7, T8, O1, O2), se logró identificar que en el electrodo temporal derecho T8 no se encontraron diferencias significativas. En cuanto al canal ubicado en el lóbulo temporal izquierdo T7, se evidenciaron diferencias significativas sobre la banda de frecuencia Beta específicamente en los 20 Hz (véase la figura 12).

Figura 12

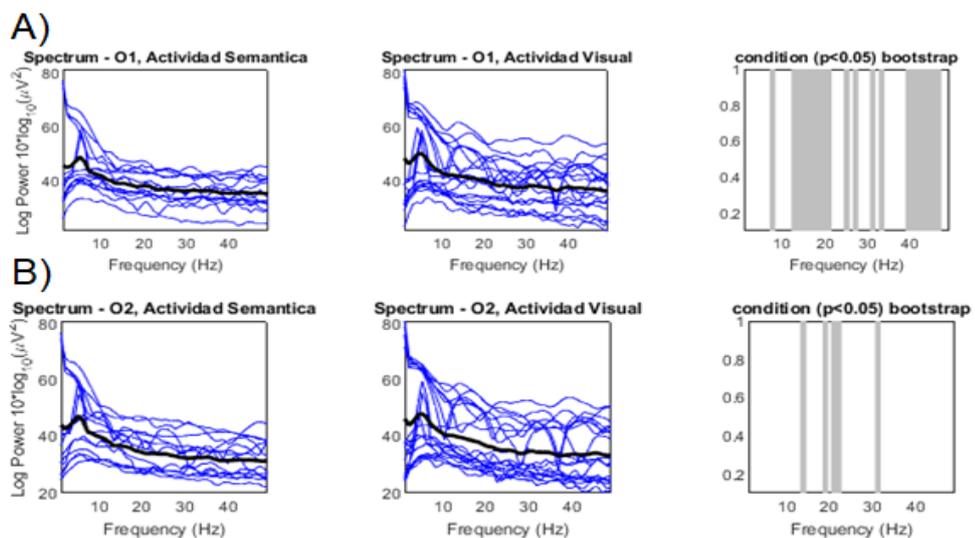
Canales temporales T7 Y T8 en actividades semánticas y visuales



Es importante considerar que en los canales de los sectores occipitales se encontraron ondas Beta de entre 12-21 Hz para el occipital izquierdo y 13-21 Hz para el canal occipital derecho véase la figura 13. Con relación a la banda de frecuencia Gamma, en el canal occipital O1 mostró mayor diferencia en el rango de 25-45 Hz y los 8 Hz para la actividad en la banda de frecuencia perteneciente a ondas Alfa. Con respecto al canal occipital derecho O2 se encontró presente el rango de frecuencia Gamma 31 Hz (Figura 13).

Figura 13

Canales occipitales O1, O2 en actividades semánticas y visuales



4.4 Actividad eléctrica cerebral y áreas cerebrales implicadas en el razonamiento

abstracto semántico y visual

Como se muestra en la tabla 2, las diferencias más significativas se dieron en los rangos de frecuencia Beta (13-25 Hz) en los 4 lóbulos, es decir, los electrodos frontales (F3, F4), Temporal izquierdo (T7), parietal derecho (P4) y occipitales (O1, O2) a excepción del temporal derecho (T8) y parietal izquierdo (P3).

Con respecto a las ondas Gamma (25-50 Hz) las diferencias significativas surgieron en 3 lóbulos cerebrales correspondientes a los canales frontales (F3, F4), parietal (P3), occipital (O1, O2). Por otra parte, los canales temporales (T7, T8) y parietal derecho (P4) no tuvieron diferencias significativas en las tareas de razonamiento abstracto semántico y visual. Con relación a las ondas Alfa (8-12 Hz) las diferencias se encontraron únicamente en los canales pertenecientes al lóbulo parietal (P4) y occipital (O1). Por último, en todos los canales en las bandas de frecuencia Delta (0.5-4) y Theta (5-7 Hz) no se encontraron diferencias significativas, lo cual, guarda sentido debido a que tanto las ondas Delta y Theta son lentas y tienen el menor rango de frecuencia y generalmente no se vinculan tanto con el mayor trabajo cognoscitivo sino con estados de relajación y en ciertos casos inconciencia como es el caso de las ondas Delta.

Tabla 2

Tipos de ondas y rangos de frecuencia con diferencias significativas

	<i>Alfa</i>	<i>Beta</i>	<i>Gamma</i>
<i>Canal F3</i>		13-24 Hz	24-50 Hz
<i>Canal F4</i>		19-20 Hz	30-35 Hz
<i>Canal T7</i>		20 Hz	
<i>Canal T8</i>			
<i>Canal P3</i>			32 Hz
<i>Canal P4</i>	8 Hz	13-22 Hz	
<i>Canal O1</i>	8 Hz	12-21 Hz	25-45 Hz
<i>Canal O2</i>		13-21 Hz	31 z

5. Discusión

Al hacer referencia a las bases cerebrales y capacidades cognitivas de manera general, el razonamiento abstracto, desde el enfoque neuropsicológico, es la más avanzada de todas las capacidades cognitivas y forma parte de las funciones ejecutivas relacionadas además con la maduración del córtex prefrontal que se asocia a un mayor número de redes y conexiones neuronales. El razonamiento abstracto es la capacidad que emerge de la inteligencia humana y está implicada en los procesos de aprendizaje y descubrimiento tanto en niños como en adultos (Kmiecik et al., 2019). Taylor et al. (2020), manifiestan que estas habilidades humanas son independientes de las experiencias y el conocimiento individual, por lo tanto, se ha encontrado que el razonamiento no centra su atención hacia encontrar las características específicas de los estímulos, sino en hallar las relaciones existentes entre ellas.

En cuanto al objetivo general planteado cuya finalidad fue identificar la relación entre la actividad eléctrica cerebral y las tareas de razonamiento abstracto semántico y visual con EEG, se ha visto que, dentro de los mapas topográficos, los lóbulos frontal, parietal, temporal y occipital de cada hemisferio cerebral, mostraron un incremento en dicha actividad, evidenciándose así mayor espectro de potencia positiva desplegada sobre toda la corteza cerebral. Esto se evidenció en todos los sujetos partícipes de la investigación. Asimismo, la presente investigación evidenció diferencias significativas en los rangos de frecuencia Alfa (8-12 Hz), Beta (13-25 Hz) y Gamma (25-50 Hz). A continuación, serán desglosados y discutidos todos los objetivos específicos propuestos en la investigación.

El primer objetivo tuvo como finalidad definir las zonas de activación eléctrica cerebral por medio de tareas semánticas de razonamiento abstracto. Los resultados evidenciaron que las regiones frontales, temporales, parietales del hemisferio derecho y occipitales del hemisferio izquierdo mostraron en los mapas de calor un mayor predominio y rango del poder espectral durante la resolución de tareas abstractas semánticas. Cuando dos o más palabras que son distintas entre sí están relacionadas por medio de un significado surgen los procesos de relación semántica. Arellano, J. et al., (2021), indican la participación de la unión del giro supramarginal del lóbulo parietal, el giro temporal superior, medio y posterior, el área izquierda de Broca, las áreas suplementarias de movimientos

oculares y en menor medida las áreas primarias visuales bilaterales, como aquellas áreas comprometidas tanto en el lenguaje oral, la decisión semántica y la respuesta al estímulo visual. Rizkallah et al. (2022), encontró ocurrencia de actividad tanto en la región frontal derecha y temporo-occipital izquierda, estos autores mencionan que la actividad en estas zonas puede ayudar a predecir la capacidad del cerebro para reconocer y nombrar estímulos que son resueltos por medio de la vía visual.

Bade y Nee (2019), por su parte, recalcan que las áreas prefrontales se relacionan con el control cognitivo y la representación jerárquica abstracta. Los resultados de Blanco et al. (2021), encontraron actividad diferenciada sobre las áreas frontales, parietales y temporales correspondientes al hemisferio derecho en la resolución de tareas semánticas. Evidentemente, esos hallazgos se relacionan con los encontrados en la presente investigación. Por su parte, Shimada (2004), en cambio, encontró en la resolución de tareas de razonamiento diferencias funcionales sobre las zonas frontales, los resultados demostraron mayor actividad positiva sobre el hemisferio izquierdo a comparación que el derecho. Los postulados de Molina del Río et al., (2019), refieren que diversos circuitos, entre ellos el circuito prefrontal-parietal izquierdo, se encarga de mantener y manipular la información percibida. Corbetta y Shulman (2002), con resultados distintos, en cambio encontraron la participación bilateral de sectores pertenecientes a la corteza parietal posterior, estas áreas manifestadas indican que están implicadas y sistemáticamente asociadas a tareas de razonamiento inferencial transitivo y cognición social.

Numerosos estudios han revelado que el cerebro está organizado en un conjunto de módulos de regiones que están funcionalmente interconectadas (Meunier et al., 2010), y se asocian con el estado cognitivo individual (Andric y Hasson, 2015) y el desarrollo (Meunier et al., 2009). Una cuestión interesante con respecto a modelos actuales es que las estructuras frontales como por ejemplo el córtex prefrontal dorsolateral, ventrolateral así como áreas temporales y parietales intervienen y se relacionan con el razonamiento semántico, la memoria de trabajo y el manejo de la información perceptiva (Xu y Chun, 2006; Kamiński et al., 2011).

El razonamiento abstracto involucra una serie de procesos dependientes de interacciones sumamente complejas entre las áreas frontales y parietales. En la presente investigación se identificó visualmente que el mayor espectro de potencia con carga positiva se encontró distribuida sobre los sectores frontales y parietales F3, F4, P3, P4. Se ha encontrado que las regiones de atención dorsal y ventral de las regiones fronto-parietales interactúan en el cerebro sano en procesos atencionales, de memoria, así como de pensamiento abstracto, además, se ha visto que la corteza parietal y el campo ocular frontal participan también en la atención voluntaria ante señales de carácter simbólico (Corbetta y Shulman 2011).

Chuderski y Andrelczyk (2015), en sus resultados encontraron actividad positiva significativa sobre sectores frontales y parietales en el desenvolvimiento de tareas de razonamiento analógico, lo cual, confirman los hallazgos con la presente investigación. Dentro del razonamiento se ha visto que la capacidad de almacenamiento de la información y la inhibición se interrelacionan, por ejemplo, se ha proporcionado evidencia en donde se sugiere que la inhibición ejerce un efecto sobre el control atencional y las funciones mnésicas, es decir, los procesos de razonamiento en el sujeto no emergen de forma directa, sino que se dan a través de su efecto sobre los procesos de memoria (Shipstead et al., 2014). En este sentido, la utilización del paradigma de carácter verbal en la presente investigación requirió que exista recuperación de la información y asociación de la misma para llevar a cabo las tareas.

En la presente investigación también se ha encontrado en los resultados que el espectro de potencia del electrodo T8 perteneciente al lóbulo temporal derecho mostró mayor actividad en comparación que el electrodo ubicado en lóbulo temporal del hemisferio izquierdo T7. Estudios previos han evidenciado en este sentido que la corteza temporal derecha es responsable del procesamiento semántico y de la memoria no verbal, además, se ha determinado que la corteza temporal derecha asume y juega un papel crítico en el razonamiento verbal (Wisniewski et al., 2012).

Angrilli et al. (2000), apoyan la idea de que las áreas temporo-parietales pueden estar involucradas en la categorización semántica, el reconocimiento, la selección de

información, etc. Ampliando la información y acotando a lo anterior, estudios distintos han evidenciado que los pacientes con daño cerebral con compromiso de la corteza temporal anterior, presentan dificultades significativas en pruebas dependientes de razonamiento o conocimiento semántico a pesar de tener las áreas prefrontales conservadas (Krawczyk et al., 2010; Morrison et al., 2004; Waltz et al., 1999).

En cuanto a sectores occipitales en las tareas de razonamiento semántico, se encontró en la presente investigación mayor actividad positiva sobre el hemisferio izquierdo. Según Vanni et al. (1997), los sectores occipitales izquierdos pueden hallarse implicados tanto en la elaboración de esquemas de carácter lingüístico así como en la organización secuencial de las percepciones visuales. Otros autores refieren que la resolución de tareas abstractas de carácter verbal, no abarcan unilateralmente la participación de regiones parieto-occipitales, sino que comprende la activación de ambos hemisferios cerebrales (Alcaraz et al., 2017).

Capotosto, P. et al. (2012), sugieren que la corteza parietal derecha interviene en la activación del córtex occipital, estos resultados se han evidenciado en la presentación de eventos visuales con el uso de letras y rotación de imágenes. Otros autores han interpretado una sugerencia de que la corteza frontal y parietal derecha normalmente podrían desempeñar un papel especial al influir en la actividad de la corteza visual de los seres humanos (Ruff et al., 2009). Varios estudios de estimulación eléctrica transcraneal (EMT) sugieren posibles diferencias hemisféricas de la EMT frontal o parietal en el procesamiento visual, se han encontrado que la EMT frontal o parietal derecha puede tener influencias más marcadas en el rendimiento visual que la EMT de los sitios correspondientes al hemisferio izquierdo (Chambers et al., 2004; Muggleton et al., 2006; Silvanto et al., 2006).

Para la resolución de las tareas semánticas en la presente investigación fue estrictamente necesaria la participación del sistema visual. Cabe destacar que, las áreas visuales participan tanto en la recepción, almacenamiento e interpretación de la información, aunque se debe considerar que las áreas primarias de proyección, secundarias de

asociación y terciarias de superposición participan en la integración de la información para establecer diferencias, similitudes, características, etc. (Luria, A., 1974).

En cuanto al segundo objetivo específico cuyo fin fue establecer las zonas de activación eléctrica cerebral por medio de tareas visuales de razonamiento abstracto, se encontró tanto que las regiones frontales y parietales bilaterales, temporales derechas, así como occipitales del hemisferio izquierdo mostraron mayor poder en el espectro de potencia en las gráficas. Estos hallazgos de mayor actividad bilateral frontal y parietal han permitido ahondar más sobre dichas cortezas, las cuales, se han corroborado con investigaciones previas. Jung y Haier (2007), en su revisión analizaron con pruebas de razonamiento analógico visual la integración parieto-frontal con siglas (P-FIT), esta investigación refiere que las áreas de Brodmann 7, 39 y 40 pertenecientes a sectores parietales forman parte de la etapa de integración y abstracción de la información.

Estudios han encontrado que la corteza prefrontal ejerce control de supervisión sobre las regiones parietales posteriores durante el desempeño de tareas que engloben la búsqueda visual (Rypma et al. 2006). Un estudio comparativo encontró que el funcionamiento de la corteza prefrontal, con una red bilateral frontoparietal proporciona y evidencia un mejor procesamiento de la información, además de mayor soporte tanto para la capacidad de razonamiento así como para la función ejecutiva (Sastre-Riba & Ortíz, 2018).

Con respecto a los lóbulos temporales, en nuestro estudio se encontró que el poder del espectro de potencia con tendencia negativa estuvo sobre el electrodo perteneciente al hemisferio izquierdo. En cuanto a las tareas visuales no se identificó carga positiva significativa sobre el hemisferio derecho a comparación de los resultados obtenidos por los sujetos en la ejecución de tareas semánticas. Estudios han encontrado activación sobre el surco temporal superior izquierdo en el procesamiento de imágenes visuales (Vandenberghe et al., 1996). Respecto al razonamiento visual, Thut, et al. (2006), por ejemplo, encontraron actividad bilateral sobre la corteza occipital en la resolución de tareas de razonamiento visual, las cuales, asumieron la participación de ambos hemisferios para el procesamiento visual y la atención visoespacial.

La mayoría de estudios asumen que el cortex visual en el razonamiento abstracto tiene la implicación en su mayoría de la corteza visual primaria de manera bilateral, estos hallazgos han sido contrastados en una investigación donde encontraron actividad negativa bilateral sobre los electrodos occipitales ante la estimulación visual y el desempeño en tareas visuales (Elbert T. y Rockstroh B., 1987). En los mapas de calor de los bloques de razonamiento visual de la presente investigación, se evidenció carga negativa distribuida hacia el hemisferio derecho y carga positiva hacia el hemisferio izquierdo de los electrodos occipitales, los cuales difieren con las investigaciones precedentes.

En cuanto a los resultados obtenidos en la presente investigación también se encontró actividad positiva distribuida hacia las áreas temporo-parieto-occipitales, estos resultados pueden ser comparados con los de Alamia et al.(2020), ya que estos autores identificaron una mayor actividad sobre las áreas parieto-occipitales usando bloques de tareas de razonamiento visual de ubicación espacial, estos autores además recalcan que la actividad sobre estos sectores pueden asociarse también con los procesos de atención y memoria. Se ha visto también que las áreas temporo-occipitales involucran el procesamiento de la información sensorial, las áreas de Brodmann 18,19 y 37 evidencian la implicación de las mismas en el manejo de material visual. Es importante recalcar que las funciones cognitivas actúan como la unión de todos los procesos, por lo tanto como se mencionó con antelación, no sería correcto identificar a las mismas como funciones aisladas, sino como la asociación de estas para el alcance de distintos objetivos en particular.

Por esto, otro de los objetivos específicos propuestos fue de identificar que tipo de ondas cerebrales tienen mayor implicación en las tareas de razonamiento abstracto semántico a nivel frontoparietal. Para el cumplimiento del mismo se ejecutó el análisis de las diferencias encontradas en las 2 condiciones (visual-semántico). Se evidenció en los resultados de la presente investigación que la actividad bioeléctrica cerebral de los participantes mostró diferencia significativa en los rangos de frecuencia Alfa (8 Hz), Beta (13-21 Hz) y Gamma (25-31 Hz). Algunos estudios han informado que el aumento de la actividad bioeléctrica en las bandas de frecuencia mencionadas son una firma de procesos de razonamiento, atencionales y pueden predecir la probabilidad del correcto

desenvolvimiento en un sinnúmero de tareas (Händel et al., 2011; Klimesch et al., 2007; Nelli et al., 2017; Williams et al. 2019).

En la presente investigación mediante el análisis de los resultados se encontró diferencias sobre los lóbulos occipital izquierdo y parietal derecho en el rango de frecuencia de 8 Hz correspondiente a ondas Alfa en la resolución de las tareas semánticas. Liang et al. (2018), encontraron que la potencia Alfa disminuyó en todos los electrodos, especialmente en la región parieto-occipital. Estos mismos autores refieren que esta banda de frecuencia está estrechamente relacionada con el procesamiento cognitivo. Otro estudio encontró oscilaciones en la banda de frecuencia Alfa sobre los sectores frontales, parietales y occipitales por medio de tareas de razonamiento verbal y abstracto de la batería de evaluación de aptitudes intelectuales (Calvo et al. 2021).

Estudios previos informan que los componentes específicos Beta (22-34 Hz) y Gamma (36-56 Hz), se encuentran implicados en el desenvolvimiento de tareas semánticas tanto de analogías verbales así como de búsqueda visual (Treisman y Gelade, 1980; Wolfe et al., 1989). Las representaciones semánticas han mostrado patrones de actividad siendo así respaldadas por la red fronto-parietal en la inteligencia y sobre las habilidades de razonamiento (Hobeika, L. et al., 2016). En cuanto a la presente investigación se encontró diferencias significativas en las bandas de frecuencia Beta y Gamma sobre los sectores frontales bilaterales en el desenvolvimiento de las tareas semánticas.

Vecchiato, G. et al. (2013), evidenció también la implicación de las ondas rápidas Beta y Gamma en la resolución de tareas de razonamiento verbal, estudios han demostrado la participación unilateral de la corteza frontal izquierda en el razonamiento inductivo y deductivo. Otros estudios han identificado en sus resultados de la escala de inteligencia de Weschler de adultos (WAIS) patrones oscilatorios de las bandas de frecuencia Gamma (Polunina, A. y Davydov, D., 2006), así también, otros autores manifiestan que el poder en la banda Gamma del lóbulo temporal derecho es relevante para la abstracción (He, Y. et al., 2018). Las ondas Beta, por otro lado, se han visto sobre sectores frontales, temporales y parietales en la resolución de tareas creativas con componentes verbales (Razumnikova, O., 2022). Estos resultados son consistentes con los evidenciados en los resultados de la

presente investigación, así pues, se identificaron diferencias significativas en la banda de frecuencia Beta (20 Hz) sobre el electrodo correspondiente a la corteza temporal izquierda. Estudios actuales con EEG han demostrado implicación de ondas Beta sobre el lóbulo temporal anterior en la ejecución de tareas de nombramiento (Abel, T., et al., 2016; Visser, M. et al., 2010).

Con respecto al cuarto objetivo que fue determinar qué tipo de ondas tienen mayor implicación en las tareas de razonamiento abstracto visual, se encontraron diferencias en las bandas de frecuencia Alfa, Beta y Gamma. Babiloni et al. (2006), sugieren por ejemplo que las oscilaciones Alfa sobre sectores parietales y occipitales pueden ser relacionados con el procesamiento visual, además de encontrarse latentes en estados de movimiento y relajación.

La banda de frecuencia Beta sobre áreas parieto-occipitales se relacionan con el razonamiento y la búsqueda visual (Sayit, R., et al., 2017). Trabajos experimentales previos encontraron actividad de componentes oscilatorios específicos Beta y Gamma, siendo estos rangos de frecuencia característicos de los procesos mencionados (Buschman y Miller, 2007; Phillips y Takeda, 2009). Se han visto los componentes oscilatorios Beta también sobre la inhibición de memorias visuales en la recuperación selectiva de memoria (Park et al., 2010; Waldhauser et al., 2012). Algunos autores sugieren que el sistema visual da paso a cálculos adicionales sobre los procesos para resolver exitosamente tareas de razonamiento visual, las oscilaciones corticales rítmicas en la banda Beta son las firmas de los cálculos adicionales que pueden involucrar también atención selectiva y memoria de trabajo (Alamia et al., 2020; Lundqvist, M., et al., 2016).

Por lo que respecta a nuestros resultados no se logró evidenciar diferencias entre los periodos de reposo de las tareas visuales y semánticas en el dominio de la frecuencia, sin embargo, los mapas de calor evidenciaron actividad positiva distribuida sobre sectores frontales, parietales y occipitales bilaterales. Los electrodos del cortex temporal mostraron actividad negativa distribuida hacia el hemisferio izquierdo y actividad positiva distribuida hacia el hemisferio derecho. Raichie et al. (2001) citado en Papo, D. (2013), ha cuestionado si los estados de reposo representan estados de pasividad en el sujeto, como hallazgos

interesantes se ha encontrado que las regiones del cerebro que corresponde a las cortezas cinguladas, prefrontal medial y posterior, parietal inferior y temporal lateral muestra actividad oscilatoria neuronal elevada en reposo y actividad sistemáticamente disminuida durante tareas cognitivamente exigentes. Akdeniz, G. (2018), por ejemplo. no evidenció relación en cuanto a estados de reposo y tareas de inteligencia fluida que demandan razonamiento lógico, verbal y abstracto.

En nuestra investigación, si bien es cierto que no se encontraron diferencias en las oscilaciones lentas Delta (0,5-4 Hz) y Theta (4-8 Hz), algunos estudios han encontrado durante la ejecución de tareas cognitivas presencia de ritmos cerebrales rápidos y en los estados de reposo actividad cerebral lenta con presencia de ritmos Delta y Theta (Alcaraz et al., 2017). Otras investigaciones, en cambio, mostraron mayor implicación de ondas Theta sobre zonas frontales y parietales con el uso de tareas de razonamiento abstracto semántico. (Dix et al., 2016; Qazi et al., 2017; Santarnecchi et al., 2017).

El quinto objetivo de la investigación fue relacionar la actividad eléctrica cerebral con áreas cerebrales implicadas en las tareas de razonamiento semántico y visual. Para ello, se utilizó estadística inferencial por medio de la hipótesis nula del estudio, esto con la finalidad de encontrar las diferencias significativas en los rangos de frecuencia. En la presente investigación se encontró mayor diferencia sobre las ondas Alfa (8 Hz), Beta (13-24 Hz) y Gamma (25-50 Hz).

Las ondas Beta (13-24 Hz) mostraron mayor diferencia en los canales frontales bilaterales (F3-F4), las cuales evidencian ser la frecuencia implicada sobre los procesos cognitivos superiores como el razonamiento abstracto, la memoria de trabajo, etc. (Lundqvist, M. et al., 2018). Con relación a los lóbulos occipitales bilaterales (O1-O2), se han encontrado investigaciones que evidencian que las ondas Alfa no participan únicamente sobre la atención expectante sino también en tareas que demandan trabajo cognitivo, asimismo, se ha visto que la frecuencia distribuida sobre áreas parietales y occipitales tienen un papel importante por la asociación de áreas temporo-parieto-occipitales (Buschman y Miller, 2007). Las bandas de frecuencia Beta y Gamma sobre la corteza occipital bilateral concuerda con estudios que han identificado actividad oscilatoria rápida en

el desempeño de tareas tanto semánticas, así como visuales (Limanowsky, J. et al., 2020; Pavlov y Kotchoubey, 2022).

Con respecto a la corteza temporal izquierda cuya actividad mostró mayor diferencia sobre la banda de frecuencia Gamma (32 Hz), se puede comparar con otros estudios, donde encontraron implicación de estas oscilaciones neuronales rápidas sobre los electrodos temporales izquierdos ante la recuperación de información, la retención audio verbal y la orientación espacial de los objetos (Haenschel, C., et al., 2000). Asimismo, las diferencias sobre los electrodos ubicados en los sectores parietales evidenciaron actividad oscilatoria Alfa, Beta y Gamma, los cuales, pueden compararse con otros estudios quienes hacen énfasis a la actividad oscilatoria rápida y las redes fronto-parietales implicadas con la inteligencia humana y la capacidad de razonamiento (Zhang, L. et al., 2014).

Es oportuno discutir el uso de 8 electrodos en la presente investigación; para Morillo (2005), en el campo de la investigación refiere que es necesario el uso mínimo de por lo menos 8 canales para el registro EEG, ya que abarca, aunque no en su totalidad los sectores correspondientes a cada lóbulo y hemisferio cerebral. Como punto adicional, es necesario considerar que un mayor número de electrodos en la investigación abarcaría el resto de localizaciones faltantes optadas en nuestro estudio, ya que entre los objetivos estuvo conocer aquellos sectores topográficos con mayor activación. Song et al. (2015), en sus resultados hace énfasis y refiere que la localización de fuente de la señal EEG más precisa se obtiene con una mayor densidad de electrodos sobre el cuero cabelludo.

6. Conclusiones y trabajo futuro

Con base a la investigación realizada podemos concluir que:

- Mientras mayor es la actividad bioeléctrica fronto-parietal y occipital en la realización de tareas de razonamiento abstracto visual, menor es la actividad bioeléctrica temporo-parieto-occipital en tareas de razonamiento abstracto semántico.
- Con el uso del paradigma de razonamiento abstracto, en las tareas de carácter semántico y por medio del análisis de forma individual de cada uno de los participantes, se logró identificar mayor espectro de potencia y activación de sectores pertenecientes al los lóbulos frontal, temporal, parietal y occipital de la corteza cerebral.
- Específicamente en las tareas semánticas los sectores frontales bilaterales mostraron mayor espectro de potencia sobre los canales F3, F4, mientras que en los sectores parietal y temporal (P4, T8) existió el predominio de actividad sobre el hemisferio derecho, con relación a las zonas occipitales, el electrodo ubicado en el hemisferio izquierdo (O1) mostró mayor espectro de potencia.
- Con respecto a la activación topográfica cerebral en la ejecución de tareas de razonamiento abstracto visual, los participantes denotaron una mayor cantidad de espectro de potencia sobre los canales pertenecientes a los lóbulos frontal y parietal bilateral, temporal derecho y occipital izquierdo.
- En los periodos de reposo, los mapas de activación topográfica de los participantes no mostraron diferencias significativas, aunque la frecuencia mayor alcanzó los 41,8 Hz y la menor con un rango de 37,8 Hz sobre los lóbulos frontales, parietales, occipitales bilaterales y temporales pertenecientes al hemisferio derecho.
- En lo que refiere a proyecciones sobre estudios futuros, se recomienda ampliar el paradigma con otras tareas validadas previamente, además, sería necesario utilizar otros parámetros del EEG como los potenciales relacionados con eventos (PRE), parámetros de coherencia, sincronización y desincronización ya que existe mucha más información de su uso en el ámbito de la neuropsicología.

7. Limitaciones del estudio

En la presente investigación se encontraron algunas limitaciones las cuales serán mencionadas a continuación:

- Para la investigación se tomaron en cuenta únicamente a 20 sujetos con un rango de edad de 18 a los 30 años. La inclusión de una muestra mayor y el incorporar a población infanto-juvenil y adulta mayor también sería primordial para así identificar cómo se muestra la actividad oscilatoria cerebral sobre aquellas etapas del ciclo vital.
- Así también, la investigación se realizó únicamente en individuos sanos. Incluir a sujetos con condiciones psicopatológicas permitirá así verificar cómo la actividad bioeléctrica se manifiesta sobre los grupos clínicos, además de verificar los errores con respecto a la resolución de paradigmas experimentales.
- En la presente investigación se utilizaron 8 canales distribuidos 2 en cada lóbulo para el mapeo cerebral, sin embargo, la utilización de un sistema que abarque un mayor número de áreas corticales hubiera permitido identificar las diferencias de los rangos de frecuencias sobre cada canal, así como la actividad topográfica cerebral de manera más amplia y sobre sectores más específicos.

Referencias

- Abel, T., Rhone, A., Nourski, K., Ando, T., Oya, H., Kovach, C., Kawasaki, H., Howard, M. y Tranel, D. (2016). Beta modulation reflects name retrieval in the human anterior temporal lobe: an intracranial recording study. *Journal of Neurophysiology*, 115(6), 3052–3061. <https://doi.org/10.1152/jn.00012.2016>
- Akdeniz, G. (2018). Does Resting-state EEG Band Power Reflect Fluid Intelligence? *NeuroQuantology*, 16(4). <https://doi.org/10.14704/nq.2018.16.4.1257>
- Andric, M. y Hasson, U. (2015). Global features of functional brain networks change with contextual disorder. *NeuroImage*, 117, 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.05.025>
- Alamia, A., Luo, C., Ricci, M., Kim, J., Serre, T. y VanRullen, R. (2020). Differential Involvement of EEG Oscillatory Components in Sameness versus Spatial-Relation Visual Reasoning Tasks. *Eneuro*, 8(1), 1-11. <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0267-20.2020>
- Alcaraz, V., Granados, D., Hernández, T. y Carrasco, L. (2017). Potenciales cerebrales relacionados a eventos (PRE) y mapeo cerebral durante la presentación de palabras abstractas y concretas. *Revista Neuropsicología Latinoamericana*, 9(3), 7-20.
- Angrilli, A., Dobel, C., Rockstroh, B., Stegagno, L. y Elbert, T. (2000). EEG brain mapping of phonological and semantic tasks in Italian and German languages. *Clinical Neurophysiology*, 111(4), 706–716. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(99\)00308-9](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(99)00308-9)
- Arboleda, J. (2013). HACIA UN NUEVO CONCEPTO DE PENSAMIENTO Y COMPRENSIÓN. *Revista Boletín Redipe*, (824), 6-14.
- Arellano, J., Moreno del Pozo, G., Culqui, C. y Tamayo, V. (2021). Procesamiento cerebral del lenguaje desde la perspectiva de la neurociencia y la psicolingüística. *Revista de Ciencias Sociales*, 27(4), 292–308. <https://doi.org/10.31876/rcs.v27i4.37256>
- Arvaneh, M., Robertson, I. y Ward, T. (2019). A P300-Based Brain-Computer Interface for

Improving Attention. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, 1-14.

<https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00524>

Babiloni, C., Vecchio, F., Miriello, M., Romani, G. y Rossini, P. (2006). Visuo-spatial Consciousness and Parieto-occipital Areas: A High-resolution EEG Study. *Cerebral Cortex*, 16(1), 37-46. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi082>

Badre, D. y Nee, D. (2018). Frontal Cortex and the Hierarchical Control of Behavior. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(2), 170–188. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.11.005>

Barroso Martín, J. y León Carrión, J. (2002). Funciones ejecutivas: control, planificación y organización del conocimiento. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 55(1), 27-44.

Basile, L., Sato, J., Alvarenga, M., Henrique, N., Pasquini, H., Alfenas, W., Machado, S., Velasques, B., Ribeiro, P., Piedade, R., Anghinah, R. y Ramos, R. (2013). Lack of Systematic Topographic Difference between Attention and Reasoning Beta Correlates. *PLoS ONE*, 8(3), e59595. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059595>

Bermeo, D., Urgilés, D., Vásquez, G., Almeida- Galárraga, D. y Alvarado Cando, O. (2022). Implementation of a Low-Cost Electroencephalography System for the Analysis of Neurological Biosignals for Neuropsychological Studies. En T. Ahram, W. Karwowski, P. Di Bucchianico, R. Taiar, L. Casarotto, y P. Costa (Eds.), *Intelligent Human Systems Integration (IHSI 2022): Integrating People and Intelligent Systems*. <https://doi.org/10.54941/ahfe100993>

Blanco, E., Blanch, Á., Ruiz, C. y Borrell, D. (2021). Rendimiento académico y aptitudes intelectuales en relación a la actividad mental para la resolución de tareas cognitivas en estudiantes de ESO. *Revista de Humanidades Cuadernos Del Marqués de San Adrián*, 13, 25–39.

Buschman, T. J., y Miller, E. K. (2007). Top-Down Versus Bottom-Up Control of Attention in the Prefrontal and Posterior Parietal Cortices. *Science*, 315(5820), 1860–1862. <https://doi.org/10.1126/science.1138071>

- Brzezicka, A., Kamiński, J., Kamińska, O., Wołyńczyk-Gmaj, D. y Sedek, G. (2017). Frontal EEG alpha band asymmetry as a predictor of reasoning deficiency in depressed people. *Cognition and Emotion*, 31(5), 868–878.
<https://doi.org/10.1080/02699931.2016.1170669>
- Capotosto, P., Babiloni, C., Romani, G. L. y Corbetta, M. (2012). Differential Contribution of Right and Left Parietal Cortex to the Control of Spatial Attention: A Simultaneous EEG-rTMS Study. *Cerebral Cortex*, 22(2), 446–454. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr127>
- Carmona, N. y Jaramillo, D. (2010). *El razonamiento en el desarrollo del pensamiento lógico a través de una unidad didáctica basada en el enfoque de resolución de problemas* [Tesis de maestría, Uiversidad Tecnológica de Pereira].
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1484/1/37235C287.pdf>
- Chambers, C., Payne, J., Stokes, M. y Mattingley, J. B. (2004). Fast and slow parietal pathways mediate spatial attention. *Nature Neuroscience*, 7(3), 217–218.
<https://doi.org/10.1038/nn1203>
- Choudhary, P. (2016). Alpha Waves In Relation To Different Intellectual Levels. The *International Journal of Indian Psychology*, 4(1). Doi: 10.25215/0484.008
- Chuderski, A. y Andrelczyk, K. (2015). From neural oscillations to reasoning ability: Simulating the effect of the theta-to-gamma cycle length ratio on individual scores in a figural analogy test. *Cognitive Psychology*, 76, 78–102.
<https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2015.01.001>
- Cohen, M. (2014). *ANALYZING NEURAL TIME SERIES DATA: THEORY AND PRACTICE*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9609.001.0001>
- Corbetta, M. y Shulman, G. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(3), 201–215. <https://doi.org/10.1038/nrn755>

- Corbetta, M. y Shulman, G. (2011). Spatial Neglect and Attention Networks. *Annual Review of Neuroscience*, 34(1), 569–599. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-061010-113731>
- Deiber, M., Ammann, C., Hasler, R., Colin, J., Perroud, N. y Ros, T. (2021). Electrophysiological correlates of improved executive function following EEG neurofeedback in adult attention deficit hyperactivity disorder. *Clinical Neurophysiology*, 132(8), 1937–1946. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2021.05.017>
- Delorme, A. y Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134(1), 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2003.10.009>
- Delorme, A., Mullen, T., Kothe, C., Akalin Acar, Z., Bigdely-Shamlo, N., Vankov, A. y Makeig, S. (2011). EEGLAB, SIFT, NFT, BCILAB, and ERICA: New Tools for Advanced EEG Processing. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2011, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2011/130714>
- Dix, A., Wartenburger, I. y Der Meer, E. (2016). The role of fluid intelligence and learning in analogical reasoning: How to become neurally efficient?. *Neurobiology of Learning and Memory*, 124, 236–247. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nlm.2016.07.019>
- Duarte, E., Gonzales, M. y Alvarado, J. (2015). *Neurofeedback como tratamiento para el trastorno por deficit de atención (TDA)* [Tesis de Doctorado, Universidad Complutense de Madrid]. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/33704/1/T36561.pdf>
- Echavarría, L. (2017). Modelos explicativos de las funciones ejecutivas. *Revista de Investigación en Psicología*, 20(1), 237-247. <https://doi.org/10.15381/rinvp.v20i1.13534>
- Efron, B. (1979). Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife. *The Annals of Statistics*, 7(1). <https://doi.org/10.1214/aos/1176344552>
- Efron, B. y Hastie, T. (2016). *Computer Age Statistical Inference*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316576533>

- Efron, B. y Tibshirani, R. (1994). *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman and Hall/CRC.
<https://doi.org/10.1201/9780429246593>
- Elbert T. y Rockstroh B. (1987). Threshold regulation – a key to the understanding of the combined dynamics of EEG and event-related potentials. *Journal of Psychophysiology*, (4), 317–333.
- Evans, J. (2012). Dual-Process Theories of Deductive Reasoning: Facts and Fallacies. En K. Holyoak y R. Morrison (Eds.), *The Oxford Handbook of thinking and Reasoning* (pp.115-267). Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199734689.001.0001>
- Flynn , J. R. (2007). *What Is Intelligence? Beyond the Flynn Effect*. Cambridge University Press.
- Flores, E., Maureira, F., Díaz, H. y Navarro, B. (2020). Modificaciones neurofisiológicas de ondas beta durante un test atencional tras una intervención de ejercicio físico. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 15(44), 201–2011.
- Fuster, J. (2002). Frontal lobe and cognitive development. *Journal of Neurocytology*, 31, 373–385. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1024190429920>
- Fuster, J. (2005). *Cortex and Mind: Unifying Cognition*. Oxford University Press. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780195300840.001.0001
- Goldstein, G. (1998). Neuropsychological Assessment of Abstract Reasoning. En G. Goldstein, P. Nussbaum, y S. Beers (Eds.), *Human Brain Function: Assessment and Rehabilitation* (pp. 317–331). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1950-2>
- Gómez, L., Garcia, C. y Saltaren, R. (2016). Análisis de señales EEG para detección de eventos oculares, musculares y cognitivos [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid].
http://oa.upm.es/44379/1/TFM_LEONARDO_JOSE_GOMEZ_FIGUEROA.pdf

- González, M. (2015). Funciones ejecutivas y lóbulos frontales. En S. Viveros (Eds.), *Desarrollo neurológico de las funciones ejecutivas en preescolar* (pp. 1–11). El Manual Moderno.
- Goodwin, G. y Johnson-Laird, P. (2005). Reasoning about relations. *Psychological Review*, 112(2), 468–493. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.112.2.468>
- Haenschel, C., Baldeweg, T., Croft, R. J., Whittington, M. y Gruzelier, J. (2000). Gamma and beta frequency oscillations in response to novel auditory stimuli: A comparison of human electroencephalogram (EEG) data with in vitro models. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(13), 7645–7650. <https://doi.org/10.1073/pnas.120162397>
- Händel, B., Haarmeier, T., y Jensen, O. (2011). Alpha Oscillations Correlate with the Successful Inhibition of Unattended Stimuli. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(9), 2494–2502. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21557>
- He, Y., Nagels, A., Schlesewsky, M., & Straube, B. (2018). The Role of Gamma Oscillations During Integration of Metaphoric Gestures and Abstract Speech. *Frontiers in Psychology*, 9(1348), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01348>
- Helmlinger, B., Sommer, M., Feldhammer-Kahr, M., Wood, G., Arendasy, M. y Kober, S. (2020). Programming experience associated with neural efficiency during figural reasoning. *Scientific Reports*, 10(1), 13351. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70360-z>
- Hernandez, R., Fernandez, C. y Baptista, M. (2014). Análisis de datos cuantitativos. En Mc Graw Hill (Ed.), *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN* (6ta ed., pp. 270–335).
- Hobeika, L., Diard-Detoeuf, C., Garcin, B., Levy, R. y Volle, E. (2016). General and specialized brain correlates for analogical reasoning: A meta-analysis of functional imaging studies. *Human Brain Mapping*, 37(5), 1953–1969. <https://doi.org/10.1002/hbm.23149>

- Jaramillo, L. y Puga, L. (2016). El pensamiento lógico-abstracto como sustento para potenciar los procesos cognitivos en la educación. *Sophía Colección de Filosofía de la Educación*, 2(21), 31-55. <https://doi.org/10.17163/soph.n21.2016.01>
- Jiménez, R., Gómez, A., Fundora, R. y Luna, D. (2017). Neuropsicología del pensamiento: nuevos retos y descubrimientos. *Gaceta Médica Espirituana*, 9(3),1-10.
- Junqué, C. (2011). Técnicas de neuroimagen en neuropsicología clínica y rehabilitación neuropsicológica. En Elsevier (Eds.), *Rehabilitación neuropsicológica Intervención y práctica clínica*.
- Jung, R. y Haier, R. (2007). The Parieto-Frontal Integration Theory (P-FIT) of intelligence: Converging neuroimaging evidence. *Behavioral and Brain Sciences*, 30(2), 135–154. <https://doi.org/10.1017/S0140525X07001185>
- Kamiński, J., Brzezicka, A. y Wróbel, A. (2011). Short-term memory capacity (7 ± 2) predicted by theta to gamma cycle length ratio. *Neurobiology of Learning and Memory*, 95(1), 19–23. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2010.10.001>
- 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. *Intelligence*, 61, 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2017.01.002>
- Kelly, S. y O'Connell, R. (2013). Internal and External Influences on the Rate of Sensory Evidence Accumulation in the Human Brain. *Journal of Neuroscience*, 33(50), 19434–19441. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3355-13.2013>
- Kim, S., Lee, M., Jang, C., Kwon, J. y Park, J. (2013). The Effect of Alpha Rhythm Sleep on EEG Activity and Individuals' Attention. *Journal of Physical Therapy Science*, 25(12), 1515–1518. <https://doi.org/10.1589/jpts.25.1515>
- Klimesch, W., Sauseng, P. y Hanslmayr, S. (2007). EEG alpha oscillations: The inhibition–timing hypothesis. *Brain Research Reviews*, 53(1), 63–88. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.06.003>
- Kmiecik, M., Brisson, R. y Morrison, R. (2019). The time course of semantic and relational

processing during verbal analogical reasoning. *Brain and Cognition*, 129, 25–34.
<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2018.11.012>

Krawczyk, D. (2018). The Neuroscience of Reasoning. En Academic Press (Eds.),
Reasoning The Neuroscience of How We Think (1ra ed., pp. 41–69). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809285-9.00003-X>

Krawczyk, D., Hanten, G., Wilde, E., Xiaoqi, L., Schnelle, K., Merkley, T., Vasquez, A., Cook,
L., McClelland, M., Chapman, S. y Harvey, L. (2010). Deficits in analogical reasoning in
adolescents with traumatic brain injury. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4(62), 1–13.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00062>

Laskaris, N., Tarnanas, I., Tsolaki, M., Vlaikidis, N. y Karlovasitou, A. (2013). Improved
detection of amnesic MCI by means of discriminative vector quantization of single-trial
cognitive ERP responses. *Journal of Neuroscience Methods*, 212(2), 344–354.
<https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2012.10.014>

Lezak, M., Howieson, D., Loring, D., Hannay, H. y Fischer, J. (2004). Basic Concepts. In
Neuropsychological Assessment (4th ed., pp. 22–37). Oxford University Press.

Li, Z., Zhang, L., Zhang, F., Gu, R., Peng, W. y Hu, L. (2020). Demystifying signal
processing techniques to extract resting-state EEG features for psychologists. *Brain
Science Advances*, 6(3), 189–209. <https://doi.org/10.26599/BSA.2020.9050019>

Liang, Y., Liu, X., Qiu, L. y Zhang, S. (2018). An EEG Study of a Confusing State Induced by
Information Insufficiency during Mathematical Problem-Solving and Reasoning.
Computational Intelligence and Neuroscience, 2018, 1–13.
<https://doi.org/10.1155/2018/1943565>

Limanowski, J., Litvak, V. y Friston, K. (2020). Cortical beta oscillations reflect the contextual
gating of visual action feedback. *NeuroImage*, 222, 117267.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117267>

Liu, J., Li, J., Peng, W., Feng, M. y Luo, Y. (2019). EEG correlates of math anxiety during

arithmetic problem solving: Implication for attention deficits. *Neuroscience Letters*, 703, 191–197. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2019.03.047>

Llinás, R. R. (2002). *El cerebro y el mito del yo El papel de las neuronas en el pensamiento y el comportamiento humanos* (pp.1-339) MIT Press.

Lu, X. y Hu, L. (2019). Electroencephalography, Evoked Potentials, and Event-Related Potentials. En L. Hu y Z. Zhang (Eds.), *EEG Signal Processing and Feature Extraction* (1era ed., pp. 23–42). Springer Singapore. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-13-9113-2>

Lundqvist, M., Herman, P., Warden, M. R., Brincat, S. L. y Miller, E. K. (2018). Gamma and beta bursts during working memory readout suggest roles in its volitional control. *Nature Communications*, 9(1), 394. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02791-8>

Lundqvist, M., Rose, J., Herman, P., Brincat, S. L., Buschman, T. y Miller, E. (2016). Gamma and Beta Bursts Underlie Working Memory. *Neuron*, 90(1), 152–164. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2016.02.028>

Luria , A. (1974). *El cerebro en acción*. Barcelona: Fontanella .

Manzini, J. (2000). DECLARACIÓN DE HELSINKI: PRINCIPIOS ÉTICOS PARA LA INVESTIGACIÓN MÉDICA SOBRE SUJETOS HUMANOS. *Acta Bioethica*, 6(2). <https://doi.org/10.4067/S1726-569X2000000200010>

Meunier, D., Achard, S., Morcom, A. y Bullmore, E. (2009). Age-related changes in modular organization of human brain functional networks. *NeuroImage*, 44(3), 715–723. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.09.062>

Meunier, D., Lambiotte, R., Fornito, A., Ersche, K. y Bullmore, E. (2009). Hierarchical modularity in human brain functional networks. *Frontiers in Neuroinformatics*, 3. <https://doi.org/10.3389/neuro.11.037.2009>

- Miasnikova, A., Troshkov, D., Baklushev, M. y Perevoznuk, G. (2019). Predicting States of Abstract Reasoning Using EEG Functional Connectivity Markers. *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2451–2454. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8857031>
- Molina del Río, J., Guevara, M. A., Hernández González, M., Hidalgo Aguirre, R. M., & Cruz Aguilar, M. A. (2019). EEG correlation during the solving of simple and complex logical–mathematical problems. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *19*(4), 1036–1046. <https://doi.org/10.3758/s13415-019-00703-5>
- Morand-Beaulieu, S., O'Connor, K., Richard, M., Sauvé, G., Leclerc, J., Blanchet, P. y Lavoie, M. (2016). The Impact of a Cognitive–Behavioral Therapy on Event-Related Potentials in Patients with Tic Disorders or Body-Focused Repetitive Behaviors. *Frontiers in Psychiatry*, *7*. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2016.00081>
- Morillo, L. (2005). ANÁLISIS VISUAL DEL ELECTROENCEFALOGRAMA. En *Guía Neurológica 7* (pp. 143–163).
- Morrison, R., Krawczyk, D., Holyoak, K., Hummel, J., Chow, T., Miller, B. y Knowlton, B. (2004). A Neurocomputational Model of Analogical Reasoning and its Breakdown in Frontotemporal Lobar Degeneration. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *16*(2), 260–271. <https://doi.org/10.1162/089892904322984553>
- Muggleton, N., Postma, P., Moutsopoulou, K., Nimmo-Smith, I., Marcel, A. y Walsh, V. (2006). TMS over right posterior parietal cortex induces neglect in a scene-based frame of reference. *Neuropsychologia*, *44*(7), 1222–1229. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.10.004>
- Murakami, S. y Okada, Y. (2006). Contributions of principal neocortical neurons to magnetoencephalography and electroencephalography signals. *The Journal of Physiology*, *575*(3), 925–936. <https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1113/jphysiol.2006.105379>
- Mutsuo, S. (2004). Different roles of left and right frontal lobes for cognitive versus emotional

and social intelligence. *Tohoku Psychologica Folia*, 63, 73-83.

Nelli, S., Itthipuripat, S., Srinivasan, R. y Serences, J. (2017). Fluctuations in instantaneous frequency predict alpha amplitude during visual perception. *Nature Communications*, 8(1), 925-936. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02176-x>

Ono, T., Shindo, K., Kawashima, K., Ota, N., Ito, M., Ota, T., Mukaino, M., Fujiwara, T., Kimura, A., Liu, M. y Ushiba, J. (2014). Brain-computer interface with somatosensory feedback improves functional recovery from severe hemiplegia due to chronic stroke. *Frontiers in Neuroengineering*, 7(19). <https://doi.org/10.3389/fneng.2014.00019>

OpenBCI. 14 de marzo del 2022. *ALL-IN-ONE EEG ELECTRODE CAP STARTER KIT*. <https://shop.openbci.com/products/openbci-eeeg-electrocap-kit>

Papo, D. (2013). Why should cognitive neuroscientists study the brain's resting state? *Frontiers in Human Neuroscience*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00045>

Park, H., Min, B. y Lee, K. (2010). EEG oscillations reflect visual short-term memory processes for the change detection in human faces. *NeuroImage*, 53(2), 629–637. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.06.057>

Pavlov, Y y Kotchoubey, B. (2022). Oscillatory brain activity and maintenance of verbal and visual working memory: A systematic review. *Psychophysiology*, 59(5). <https://doi.org/10.1111/psyp.13735>

Pedraza, O., Salazar, A., Sierra, F., Soler, D., Castro, J., Castillo, P., Hernandez, M. y Piñeros, C. (2017). Confiabilidad, validez de criterio y discriminante del Montreal Cognitive Assessment (MoCA) test, en un grupo de Adultos de Bogotá. *Acta Médica Colombiana*, 41(4). <https://doi.org/10.36104/amc.2016.693>

Pion-Tonachini, L., Kreutz-Delgado, K. y Makeig, S. (2019). ICLabel: An automated electroencephalographic independent component classifier, dataset, and website. *NeuroImage*, 198, 181–197. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.05.026>

- Phillips, S., & Takeda, Y. (2009). Greater frontal-parietal synchrony at low gamma-band frequencies for inefficient than efficient visual search in human EEG. *International Journal of Psychophysiology*, 73(3), 350–354.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2009.05.011>
- Pinker, S. (2011). Taming the devil within us. *Nature*, 478, 209-311.
<https://doi.org/10.1038/478309a>
- Portellano, J. (2005). *Introducción a la neuropsicología*. McGraw-Hill.
- Portellano, J. y García, J. (2014). *Neuropsicología de la atención, las funciones ejecutivas y la memoria*. Síntesis.
- Postigo, P., Fuente, J. y Criado, J. (2017). *ESTUDIO ELECTROFISIOLÓGICO DE LOS NIVELES DE ACTIVACIÓN CEREBRAL Y CONECTIVIDAD FUNCIONAL, POTENCIADOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE NEUROFEEDBACK DURANTE UNA TAREA ATENCIONAL* [Tesis de Doctorado, Universidad de Salamanca].
<https://doi.org/10.14201/gredos.137131>
- Qazi, E., Hussain, M., Aboalsamh, H., Malik, A., Amin, H. y Bamatraf, S. (2017). Single Trial EEG Patterns for the Prediction of Individual Differences in Fluid Intelligence. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10(687), 1–19.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00687>
- Razumnikova, O. (2022). Baseline Measures of EEG Power as Correlates of the Verbal and Nonverbal Components of Creativity and Intelligence. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 52(1), 124–134. <https://doi.org/10.1007/s11055-022-01214-6>
- Ramos-Argüelles, F., Morales, G., Egozcue, S., Pabón, R. y Alonso, M. (2009). Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 32(3), 69-82.
http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137662720090006000006&lng=es&tlng=es.
- Richland, L. y Morrison, R. (2010). Is Analogical Reasoning just Another Measure of

Executive Functioning?. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4(180), 1-2

<https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00180>

Rypma, B., Berger, J. S., Prabhakaran, V., Bly, B. M., Kimberg, D. Y., Biswal, B. B y

D'Esposito, M. (2006) Neural correlates of cognitive efficiency. *NeuroImage*, 33(3), 969-979.

Rips, L., Smith, E. y Medin, D. (2013). Concepts and categories: Memory, Meaning, and Metaphysics. En K. Holyoak y R. Morrison (Eds.), *The Oxford Handbook of Thinking and Reasoning* (pp. 177–209). Oxford University Press.

<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199734689.001.0001>

Rizkallah, J., Benquet, P., Kabbara, A., Dufor, O., Wendling, F. y Hassan, M. (2018).

Dynamic reshaping of functional brain networks during visual object recognition.

Journal of Neural Engineering, 15(5), 056022. [https://doi.org/10.1088/1741-](https://doi.org/10.1088/1741-2552/aad7b1)

[2552/aad7b1](https://doi.org/10.1088/1741-2552/aad7b1)

Rojas, V. y Farías, D. (2015). Del estadio de las operaciones concretas al de las formales en la enseñanza de la matemática. *Investigación y posgrado*, 30(2), 57-71.

[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-00872015000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

[00872015000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-00872015000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Ruff, C., Blankenburg, F., Bjoertomt, O., Bestmann, S., Weiskopf, N. y Driver, J. (2009).

Hemispheric Differences in Frontal and Parietal Influences on Human Occipital Cortex:

Direct Confirmation with Concurrent TMS–fMRI. *Journal of Cognitive Neuroscience*,

21(6), 1146–1161. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21097>

Saldarriaga-Zambrano, P., Bravo-Cedeño, G. y Loo-Rivadeneira, M. (2016). La teoría

constructivista de Jean Piaget y su significación para la pedagogía contemporánea.

Dominio de Las Ciencias, 2(3), 127–137.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5802932>

Sánchez, J., Jofré, M. y Burán, M. (2018). LAS ONDAS ALFA DEL

ELECTROENCEFALOGRAMA CUANTIFICADO Y SU RELACIÓN CON LA

EVOCACIÓN IMAGINARIA DE CONTENIDOS DIFERENCIADOS. *PSIUC Revista de Psicología*, (4), 1–14. <https://www.ucongreso.edu.ar/wp-content/uploads/2020/09/Las-ondas-alfa-del-electroencefalograma-cuantificado-y-su-relación-con-la-evocación-imaginaria-de-contenidos-diferenciados.pdf>

Santarnecci, E., Khanna, A., Musaeus, C., Benwell, C., Davila, P., Farzan, F., Matham, S., Pascual-Leone, A. y Shafi, M. (2017). EEG Microstate Correlates of Fluid Intelligence and Response to Cognitive Training. *Brain Topography*, 30(4), 502–520. <https://doi.org/10.1007/s10548-017-0565-z>

Santopetro, N., Kallen, A., Threadgill, A. y Hajcak, G. (2020). Reduced flanker P300 prospectively predicts increases in depression in female adolescents. *Biological Psychology*, 156. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2020.107967>

Sastre-Riba, S. y Ortíz, T. (2018). Neurofuncionalidad ejecutiva: estudio comparativo en las altas capacidades. *Revista de Neurología*, 66(Supl.1), S51–S56. <https://doi.org/10.33588/rn.66S01.2018026>

Sayit, R., Doğan, G., Talef, F. y Akdeniz, G. (2017). Seeing Famous and Fameless People: Comparison of Eeg-Beta Waves in Temporal Lobe. *Ankara Medical Journal*, 17.

Sciotto, E. y Niripil, E. (20 de mayo del 2021). *ONDAS CEREBRALES, CONCIENCIA Y COGNICIÓN*. ReserchGate. https://www.researchgate.net/publication/326056524_ONDAS_CEREBRALES_CONCIENCIA_Y_COGNICION

Sebastián-Guerrero, M., Arcos-Sánchez, C., Navascués-Sanagustín, M., Idiazábal-Alecha, M., Ruiz-López, C. y Arana-Aritméndiz, M. (2021). Actividad electroencefalográfica durante tareas de simulación de conducción con videojuegos. *Sanidad Militar*, 77(2), 81–89. <https://doi.org/10.4321/S1887-85712021000200003>

Sharma, N., Kolekar, M., Jha, K. y Kumar, Y. (2019). EEG and Cognitive Biomarkers Based Mild Cognitive Impairment Diagnosis. *IRBM. Innovation and Research in Biomedical engineering*, 40(2), 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2018.11.007>

- Shipstead, Z., Lindsey, D., Marshall, R. y Engle, R. (2014). The mechanisms of working memory capacity: Primary memory, secondary memory, and attention control. *Journal of Memory and Language*, 72, 116–141. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2014.01.004>
- Shunta, L. y Estévez, R. (2020). *REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA SOBRE PARADIGMAS DE RAZONAMIENTO ABSTRACTO PARA RESONANCIA MAGNÉTICA FUNCIONAL (RMF)* [Tesis de maestría-Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10418>
- Silvanto, J., Lavie, N. y Walsh, V. (2006). Stimulation of the Human Frontal Eye Fields Modulates Sensitivity of Extrastriate Visual Cortex. *Journal of Neurophysiology*, 96(2), 941–945. <https://doi.org/10.1152/jn.00015.2006>
- Solovieva, Y., Rivas, X., Méndez-Balbuena, I., Machinskaya, R. y Pelayo-González, H. (2016). Neuropsychology and electroencephalography to study attention deficit hyperactivity disorder. *Revista de La Facultad de Medicina*, 64(3), 427-434. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v64n3.54924>
- Song, J., Davey, C., Poulsen, C., Luu, P., Turovets, S., Anderson, E., Li, K. y Tucker, D. (2015). EEG source localization: Sensor density and head surface coverage. *Journal of Neuroscience Methods*, 256, 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2015.08.015>
- Taylor, B., Embury, C., Heinrichs-Graham, E., Frenzel, M., Eastman, J., Wiesman, A., Wang, Y., Calhoun, V., Stephen, J. y Wilson, T. (2020). Neural oscillatory dynamics serving abstract reasoning reveal robust sex differences in typically-developing children and adolescents. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 42, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2020.100770>
- Theunissen, E., Kauert, G., Toennes, S., Moeller, M., Sambeth, A., Blanchard, M. y Ramaekers, J. (2012). Neurophysiological functioning of occasional and heavy cannabis users during THC intoxication. *Psychopharmacology*, 220(2), 341–350. <https://doi.org/10.1007/s00213-011-2479-x>

- Thut, G., Nietzel, A., Brandt, S. y Pascual-Leone, A. (2006). Alpha-Band Electroencephalographic Activity over Occipital Cortex Indexes Visuospatial Attention Bias and Predicts Visual Target Detection. *Journal of Neuroscience*, 26(37), 9494–9502. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0875-06.2006>
- Torres, F., Sánchez, C. y Palacios-Baus, K. (2014). Adquisición y análisis de señales cerebrales utilizando el dispositivo MindWave. *Actas de Congreso de Reconocimiento de Patrones, Control Inteligente y Comunicaciones-MATCH'14*, 5, 83–93. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/540/465>
- Treisman, A. y Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97–136. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(80\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0010-0285(80)90005-5)
- Vandenberghe, R., Price, C., Wise, R., Josephs, O. y Frackowiak, R. (1996). Functional anatomy of a common semantic system for words and pictures. *Nature*, 383(6597), 254–256. <https://doi.org/10.1038/383254a0>
- van de Vijver, F. (2006). Cultural Differences in Abstract Thinking. *Encyclopedia of Cognitive Science*.
- van de Vijver, F. y Willemsem, M. (1993). Abstract Thinking. En J. Altarriba (Ed.) *Cognition and culture: A cross-cultural approach to cognitive psychology* (pp. 317–342). Elsevier.
- Vanni, S., Revonsuo, A. y Hari, R. (1997). Modulation of the Parieto-Occipital Alpha Rhythm during Object Detection. *The Journal of Neuroscience*, 17(18), 7141–7147. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.17-18-07141.1997>
- Vecchiato, G., Susac, A., Margeti, S., De Vico Fallani, F., Maglione, A. G., Supek, S., Planinic, M. y Babiloni, F. (2013). High-Resolution EEG Analysis of Power Spectral Density Maps and Coherence Networks in a Proportional Reasoning Task. *Brain Topography*, 26(2), 303–314. <https://doi.org/10.1007/s10548-012-0259-5>

- Visser, M., Jefferies, E., & Lambon Ralph, M. A. (2010). Semantic Processing in the Anterior Temporal Lobes: A Meta-analysis of the Functional Neuroimaging Literature. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(6), 1083–1094. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21309>
- Waldhauser, G., Johansson, M. y Hanslmayr, S. (2012). Alpha/Beta Oscillations Indicate Inhibition of Interfering Visual Memories. *Journal of Neuroscience*, 32(6), 1953–1961. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4201-11.2012>
- Waltz, J., Knowlton, B., Holyoak, K., Boone, K., Mishkin, F., De Menezes Santos, M., Thomas, C. y Miller, B. L. (1999). A System for Relational Reasoning in Human Prefrontal Cortex. *Psychological Science*, 10(2), 119–125. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00118>
- Weiss, S. y Mueller, H. (2003). The contribution of EEG coherence to the investigation of language. *Brain and Language*, 85(2), 325–343. [https://doi.org/10.1016/S0093-934X\(03\)00067-1](https://doi.org/10.1016/S0093-934X(03)00067-1)
- Wertheim, J. y Ragni, M. (2018). The Neural Correlates of Relational Reasoning: A Meta-analysis of 47 Functional Magnetic Resonance Studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 30(11), 1734–1748. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01311
- Williams, C., Kappen, M., Hassall, C., Wright, B. y Krigolson, O. (2019). Thinking theta and alpha: Mechanisms of intuitive and analytical reasoning. *NeuroImage*, 189, 574–580. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.01.048>
- Wisniewski, I., Wendling, A., Manning, L. y Steinhoff, B. (2012). Visuo-spatial memory tests in right temporal lobe epilepsy foci: Clinical validity. *Epilepsy & Behavior*, 23(3), 254–260. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2011.12.006>
- Wolfe, J., Cave, K. y Franzel, S. (1989). Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15(3), 419–433. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.15.3.419>
- Wronka, E., Kaiser, J. y Coenen, A. (2013). Psychometric intelligence and P3 of the event-

related potentials studied with a 3-stimulus auditory oddball task. *Neuroscience Letters*, 535(1), 110-115. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2012.12.012>

Yamada, T., Ohta, H., Watanabe, H., Kanai, C., Tani, M., Ohno, T., Takayama, Y., Iwanami, A., Kato, N. y Hashimoto, R. (2012). Functional Alterations in Neural Substrates of Geometric Reasoning in Adults with High-Functioning Autism. *PLoS ONE*, 7(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043220>

Zhang, L., Gan, J. Q., & Wang, H. (2014). Optimized Gamma Synchronization Enhances Functional Binding of Fronto-Parietal Cortices in Mathematically Gifted Adolescents during Deductive Reasoning. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00430>

Zeng, Q., Dong, X., Ruan, C., Hu, B., Zhou, B., Xue, Y., Liu, Y. y Yang, H. (2017). Cognitive impairment in Chinese IIDDs revealed by MoCA and P300. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 16, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2017.05.006>

Anexo 1: Consentimiento informado



MAESTRÍA EN NEUROPSICOLOGÍA DEPARTAMENTO DE POSGRADOS

CONSENTIMIENTO INFORMADO INVESTIGACIÓN

Yo..... con cédula de identidad.....
acepto participar en la investigación sobre *“Correlación entre la actividad eléctrica cerebral y las tareas de razonamiento abstracto por medio de electroencefalografía cuantitativa a través de una interfaz Brain Computer Interface (BCI) de 8 canales”* conducido por David Marcelo Bermeo Barros con número de cédula 0105267769, perteneciente al programa de maestría de Neuropsicología en la Universidad del Azuay, bajo la tutela de la MSc. Alexandra Bueno tutor del trabajo de investigación con número de teléfono: 0991506998.

Conozco que los resultados obtenidos no tendrán devolución puesto que, son confidenciales y de uso investigativo.

Firma de aceptación

Anexo 2: Modelo de entrevista semiestructurada para criterios de inclusión



Numero Participante:

Edad:

Sexo:

Lateralidad:

Escolaridad:

Criterios de inclusión :

Trastornos neurológicos si () no ()

Especifique _____

Trastornos psiquiátricos si () no ()

Especifique _____

Consumo de sustancias si () no ()

Especifique _____

Consumo de medicamento si () no ()

Especifique _____

Uso de auxiliares si () no ()

- Lentes ()
- Audifonos ()
- Otras ()

Especificar _____