

Mapecto de la actividad eléctrica cerebral del razonamiento abstracto mediante electroencefalografía en estudiantes universitarios

Brain electrical activity mapping of abstract reasoning using electroencephalography in university students

Devis Geovanny Cedeño Mero¹, Fausto Andres Guaman Pintado², Josselin Lizbeth Enriquez Cadena³.

¹ Instituto Superior Tecnológico Universitario España. Magíster en Neuropsicología. Magíster en Docencia e Investigación en Educación Superior. Ambato - Ecuador. <https://orcid.org/0000-0002-7079-7970>
devis.cedeno@iste.edu.ec

² Instituto Superior Tecnológico Universitario España. Médico. Ambato - Ecuador. <https://orcid.org/0000-0002-1768-8302>

³ Instituto Superior Tecnológico Universitario España. Magíster en Enfermería mención cuidado crítico. Ambato - Ecuador. <https://orcid.org/0009-0007-0233-3713>

Resumen

La actividad funcional de la corteza cerebral es el elemento primordial para el estudio de los correlatos neuronales de los procesos cognitivos de la mente humana. Desde esta perspectiva, el estudio tuvo como objetivo identificar la ubicación topográfica y actividad eléctrica cerebral, mediante el método no invasivo de la electroencefalografía en estado de actividad y en reposo con los ojos abiertos, por medio de un paradigma que fue desarrollado con tareas de razonamiento abstracto de tipo semánticas y visuales, en 15 jóvenes estudiantes universitarios sin ninguna patología neurológica. Los resultados evidenciaron que en la ejecución de tareas de razonamiento semánticas existió mayor activación a nivel de los lóbulos frontales bilaterales, parietal con predominio sobre el hemisferio derecho y occipital izquierdo; por el contrario, en el razonamiento visual, activación en frontales y parietales bilaterales, temporal derecho y en el lóbulo occipital con predominio en el izquierdo. En lo que respecta a la actividad eléctrica cerebral se apreció una elevación de potencias de oscilaciones neuronales de los ritmos cerebrales rápidos alfa, beta y gamma, con mayor amplitud en zonas frontales, occipitales y parietales. En cambio, en la condición de reposo sin presencia de estímulos con los ojos abiertos, en las tareas visuales y semánticas las amplitudes de los ritmos cerebrales (delta, theta, alfa, beta y gamma) se redujeron en zonas frontales, parietales, occipitales y temporales.

Palabras clave: electroencefalografía, razonamiento semántico, razonamiento visual, actividad cerebral, mapeo cerebral.

Abstract

The functional activity of the cerebral cortex is the primary element for the study of the neural correlates of cognitive processes in the human mind. From this perspective, the study aimed to identify the topographic location and brain electrical activity by means of the non-invasive method of electroencephalography in an active state and at rest with eyes open, by means of a paradigm that was developed with semantic and visual abstract reasoning tasks in 15 young university students without any neurological pathology. The results showed that in the execution of semantic reasoning tasks there was greater activation at the level of bilateral frontal lobes, parietal with predominance over the right hemisphere and left occipital; on the contrary, in visual reasoning, activation in bilateral frontal and parietal, right temporal and occipital lobes with

predominance over the left. In terms of brain electrical activity, there was an increase in the power of neuronal oscillations of fast alpha, beta and gamma brain rhythms with greater amplitude in frontal, occipital and parietal areas. In contrast, in the resting condition without the presence of stimuli with the eyes open, in the visual and semantic tasks, the amplitudes of the brain rhythms (delta, theta, alpha, beta and gamma) were reduced in frontal, parietal, occipital and temporal areas.

Keywords: electroencephalography, semantic reasoning, semantic reasoning, visual reasoning, brain activity, brain mapping.

Introducción

El razonamiento abstracto constituye una gran capacidad cognitiva que tiene el ser humano para la ejecución y el desenvolvimiento de problemas de índole lógico. Se refiere a la capacidad de no solo representar información pretérita, sino al conjunto de ideas para transformarla y operarla para darle un cariz creativo (Vílchez & Orellana, 2021). Mediante el razonamiento se pone en marcha el uso de la imaginación y la observación para abstraer de forma mental diferentes escenarios, con el fin de llegar a una solución. Por esta razón, esta facultad forma parte fundamental de la inteligencia general siendo muy estudiada con el uso de diversas técnicas de neuroimagen. En la actualidad, existen pruebas de lápiz y papel que permiten evaluar esta función cognitiva, como es la prueba de Raven, que sigue siendo utilizada para evaluar la habilidad de la inteligencia general (Vázquez Espinosa & Cahuich Cahuich, 2023).

Por esta razón, en el mundo durante los últimos años se han diseñado una gran variedad de paradigmas para el estudio y evaluación de los efectos de distintas tareas cognitivas, por medio de sistemas de interfaz cerebro-computadora (Villegas & Rojas, 2019). El término paradigma hace referencia a diferentes tareas que son de tipo experimental, es decir, que aplican y se construyen con el propósito de mapear el cerebro a través de diferentes técnicas, entre ellas la electroencefalografía. Por medio de estos paradigmas se conocen y evalúan diferentes procesos cognitivos, permitiendo conocer la localización de la arquitectura funcional subyacente a ellos (Cabrales, 2015)

Debido a esto, varios autores desde diferentes estudios de neuroimagen han planteado aspectos sobre el razonamiento abstracto que resulta interesante conocer sobre el razonamiento abstracto. Portellano & García (2014) establecen que el término abstraer constituye una distinción propia de la inteligencia humana, por la cual se incorpora y se establece como un elemento de las funciones ejecutivas, cuya localización cerebral mediante estudios de neuroimagen se encuentra en las áreas 9 y 46 de Brodmann, situadas en la corteza prefrontal dorsolateral. Por consiguiente, una mala realización de pruebas que estimen la valoración del razonamiento abstracto estaría vinculada con un decrecimiento y deterioro en la inteligencia fluida. Esta situación produciría dificultades para resolver problemas que involucren el análisis, establecer relaciones, extraer y razonar argumentos (Stelzer et al., 2016).

Del mismo modo Portellano & García (2014) argumentan que la corteza prefrontal se enlaza en gran medida con la conceptualización y la inteligencia fluida; por lo tanto, cuando existe la presencia de una lesión que repercute en los lóbulos frontales, la inteligencia de forma general no se afecta ni se ve completamente involucrada ya que esta depende del aprendizaje de tipo cultural. Por otro lado, la inteligencia fluida que depende en menor medida de factores culturales, se ve rigurosamente afectada. Desde este punto se recalca la importancia de estudiar los aspectos relacionados al razonamiento abstracto mediante la técnica de electroencefalografía.

La presente investigación se desarrolló en la ciudad de Cuenca-Ecuador con la colaboración de 15 estudiantes universitarios sanos con edades que oscilaron entre los 18 a 30 años, permitió analizar la frecuencia de la actividad eléctrica y localización cerebral por medio de la ejecución de un paradigma en tiempo de reposo y actividad, que incluye actividades de razonamiento semánticas y visuales y donde se utilizó la técnica de electroencefalografía por medio de un dispositivo OpenBCI EEG.

El objetivo del estudio fue identificar la localización topográfica y la actividad eléctrica cerebral a través de la técnica de electroencefalografía en estado de actividad y en reposo con los ojos abiertos, por medio de un paradigma con tareas de razonamiento abstracto de tipo semánticas y visuales en jóvenes estudiantes universitarios.

Materiales y Métodos

Participantes

Se construyó la muestra por medio del método no probabilístico con inclusión por conveniencia, constituida por $n = 15$ estudiantes universitarios que corresponden a 9 estudiantes femeninas y 6 estudiantes masculinos con edades de 18 a 30 años sin antecedentes médicos. La muestra se seleccionó por colaboración voluntaria, viabilidad de acceso y disponibilidad de tiempo de los participantes.

Instrumentos

Se empleó la plataforma de programación y cálculo numérico Matlab, paradigma de razonamiento abstracto con tareas de tipo semánticas y visuales, los cuales serán explicados a continuación:

Plataforma de programación y cálculo numérico Matlab

Se utilizó Matlab para efectuar cálculos que involucren valores numéricos y simbólicos, propiedades gráficas, por lo que se eligió para el procesamiento de datos de señales electrofisiológicas (Fernández, 2019).

Paradigma de razonamiento abstracto

Se desarrolló un paradigma que incluye tareas de tipo semánticas y visuales, siguiendo las subpruebas de "semejanzas" y "conceptos con dibujos" perteneciente a la prueba de Inteligencia de Wechsler IV, que fueron adaptados por el software de acceso libre para experimentos de neurociencias denominado PsychoPy (Véase la Figura 1).

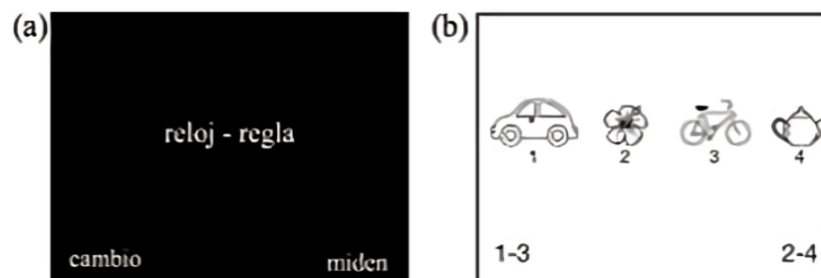


Figura 1. Estímulos de tareas de razonamiento semánticas y visuales desarrolladas en Psychopy que fueron utilizados en el paradigma

Nota: Figura donde se observa una tarea de analogía semántica (a) y de analogía visual (b).

Fuente: Tomado de Shunta (2020).

Las tareas del paradigma estuvieron compuestas por 19 reactivos, agrupados en 9 reactivos pertenecientes a las tareas de razonamiento semántico que fueron exhibidos en dos bloques: uno de 5 estímulos y el otro de 4 estímulos, separados por un período de reposo de 5 segundos. El tiempo de exposición de los estímulos fue indefinido debido a que la disfunción de respuesta dependió de la rapidez de cada participante, lo que permitió registrar minuciosamente el tiempo de respuesta de cada reactivo. La consigna del paradigma consistió en mostrarle al participante en el centro del monitor dos palabras que se relacionaban analógicamente entre sí. La persona debía seleccionar su respuesta entre dos opciones, una de las dos era la correcta. Esas palabras estaban ubicadas en la posición inferior izquierda y derecha de la pantalla, donde la persona debía oprimir en el teclado la letra "q" (izquierda), y la letra "p" (derecha).

Los otros 10 reactivos restantes pertenecen a las tareas de razonamientos visuales que consistieron en la presentación de cuatro imágenes en blanco y negro, y que solo dos imágenes se relacionaban entre si analógicamente. Las dos imágenes restantes eran distractores. Se utilizaron dos categorías abstractas para los estímulos que fueron: medios de transportes, útiles escolares y de oficina. Los estímulos fueron colocados de forma horizontal en el centro del monitor sobre un fondo blanco. La forma en cómo elegir las opciones se basó en la misma metodología de las tareas de razonamiento semántico. El paradigma que se utilizó se basó siguiendo un diseño de bloques (Véase Figura 2), en donde se observa que en tiempo de reposo se expone una cruz blanca sobre un fondo negro durante 5 segundos. Transcurrido ese período continuaban los bloques de actividad con un tiempo indefinido de exposición de cada estímulo, de tal forma que la expresión de respuesta dependía de la rapidez de cada participante.

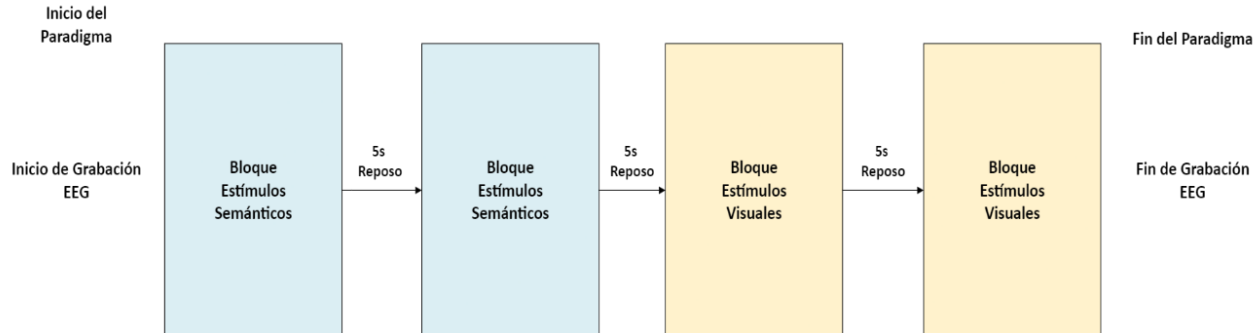


Figura 2. Secuencia del paradigma y orden de presentación de tiempos de reposo y bloques de las tareas de razonamiento semántico y visual.

Nota: El diagrama representa la forma en cómo se diseñó el paradigma del programa de software de código abierto PsychoPY.

Adquisición de las señales electroencefalográficas

Se utilizó un equipo OpenBCI EEG de electrodos húmedos insertado en su malla de modelo tela llamado "Electrode Cap" de 8 canales más dos electrodos que se utilizan como referencia siguiendo el sistema internacional de posicionamiento 10-20 (Véase Figura 3A). Los electrodos se dividen en la parte occipital, temporal, frontal y parietal de la cabeza, su denominación indica la localización donde se encuentran ubicados, que fueron las siguientes: canal 1: frontal (F3), canal 2: frontal (F4), canal 3: temporal (T7), canal 4: temporal (T8), canal 5: parietal (P3), canal 6: parietal (P4), canal 7: occipital (O1), canal 8: occipital (O2) y los dos electrodos de referencias con las siglas GND y REF (Véase Figura 3B). Este equipo posibilita adquirir datos EEG de alta

gama de las 5 distintas frecuencias de ondas cerebrales que son delta (0-4 Hz), theta (4-8 Hz), alfa (8-12 Hz), beta (12-30 Hz) y gamma (30-60 Hz).

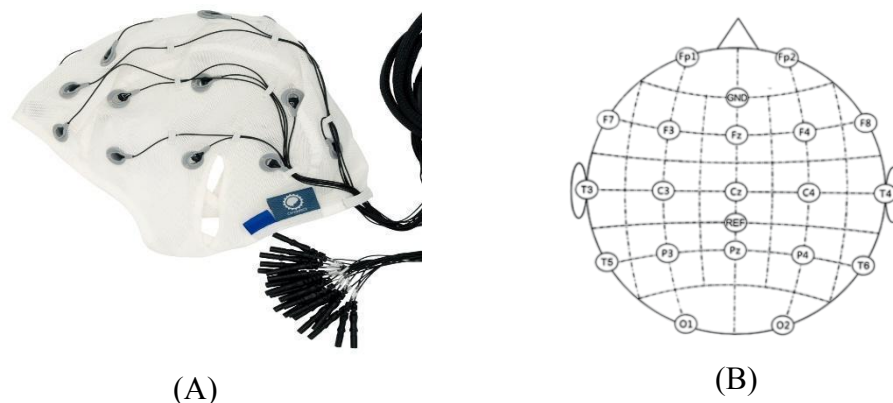


Figura 3. Equipo Open BCI y electrodos utilizados siguiendo el sistema internacional de posicionamiento 10-20.

Nota: La Figura 3A equipo OpenBCI para mediciones EEG y Figura 3B representa los electrodos ubicados siguiendo el sistema internacional de posicionamiento 10-20, donde los electrodos que están resaltados de color amarillo que son ocho y dos de referencias son los que se utilizaron en la investigación.

Análisis de Datos

Se utilizó para el procesamiento de información la caja de herramientas EEGLAB de Matlab R2021B. Una vez que se ingresó a esta herramienta se importaron los datos de los participantes obtenidos en la interfaz del OpenBCI en formato "xdf" (Extend Disk Format); se eligió el documento con la localización de los canales, en la opción Tools del EEGLAB y se procedió a elegir "descomponer datos por análisis de componentes independientes (ICA)". Todo esto con el objetivo de mostrar las gráficas de componentes cerebrales que son plasmados en base al grado de activación bioeléctrica.

Con respecto al análisis y exploración de los componentes cerebrales y para dar cumplimiento a los objetivos planteados de localización topográfica cerebral, se usó la herramienta "plot data" de EEGLAB, ya que posibilitó mostrar de manera visual los mapas de calor que identifican zonas de activación cerebral, proporcionados por cada electrodo. La organización de los componentes se dio mediante la apreciación de sus propiedades y el etiquetado. Se efectuó el análisis de cada uno de los participantes de manera individual obteniendo 8 gráficas, es decir 1 por electrodo, dando un total de 120 gráficas por cada bloque de los 15 participantes.

Por último, para determinar la actividad eléctrica cerebral, se mostraron las ilustraciones de las frecuencias preponderantes del espectrograma de las señales del EEG en las que se empleó una frecuencia de muestreo de 0.5 a 60 Hz ya que abarca las ondas cerebrales delta, theta, alfa, beta y gamma. Se aplicó el filtro Notch para suprimir los ruidos por movimientos corporales o artefactos del entorno. Antes de cada toma de muestra se realizó la fase de preamplificación, lo cual permitió constatar la correcta obtención de bioseñales.

Experimento Realizado

Se trabajó con 15 jóvenes estudiantes universitarios con edades de 18 a 30 años. A cada participante, antes de la toma de señales electroencefalográficas, se le aplicó la Escala de Evaluación Cognitiva de Montreal (MoCa) con el fin de poder determinar alguna deficiencia cognitiva, pues de existir, no podían formar parte de la investigación. Posteriormente, cada

participante entró con el OpenBCI puesto a una cámara para aislarlos del entorno y así tomar lectura de los estímulos visuales que se les fueron mandando con el mínimo de distractores.

Se le ordenó a cada participante estar al frente del monitor del computador lo más tranquilo posible y sin realizar movimientos. Se le explicaron las consignas de cómo debían desarrollar las tareas del paradigma que estuvieron compuestas por 19 reactivos. Antes de iniciar la aplicación se tomó el tiempo de inicio de la prueba, los tiempos de reposo. Una vez culminada la aplicación se anotó la hora exacta de finalización. Cabe mencionar que cada una de las pruebas que se realizaron a los 15 participantes tuvo una duración aproximada de 4 minutos.

Resultados

Análisis de la localización topográfica cerebral durante el desarrollo de tareas de razonamiento semántico

La identificación de las áreas cerebrales se efectuó a partir del análisis visual de los mapas de calor que se obtuvieron mediante el uso de un electroencefalógrafo OPENBCI EEG, cuya información obtenida fue procesada en el programa MATLAB en la caja de herramienta EEGLAB, para procesar información EEG de tipo continuo y relacionados a eventos. Para llegar a obtener los mapas de calor se necesitó incorporar en primer lugar el análisis por componentes independientes (Independent Component Analysis, ICA) de los 8 canales utilizados, con fin de eliminar los artefactos (ruidos) musculares, parpadeos, movimientos oculares y cardíacos que se evidenciaron durante la ejecución de las tareas de razonamiento semánticas y visuales en estado de actividad y en reposo, y el fin de mejorar las señales EEG y para encontrar fuentes cerebrales. A continuación, se muestran los mapas de calor de la topografía cerebral de los 8 canales utilizados en tiempo de actividad, durante la solución de tareas de analogías semánticas de los 15 participantes.

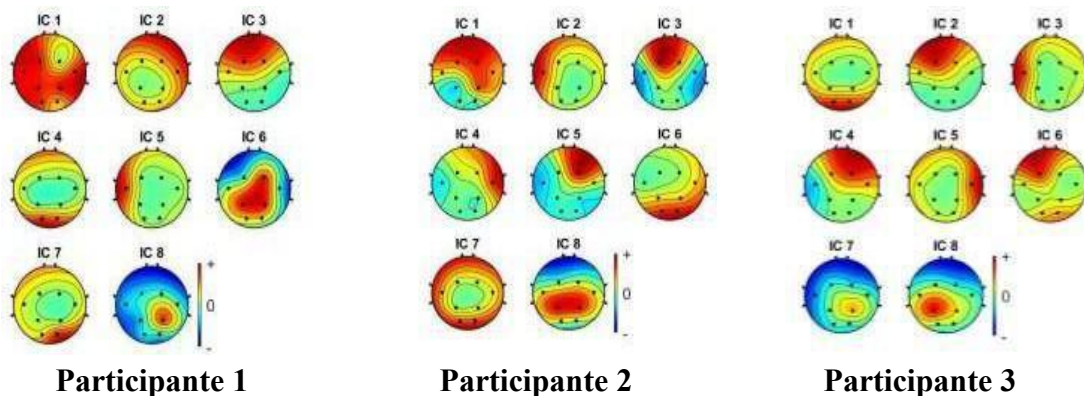
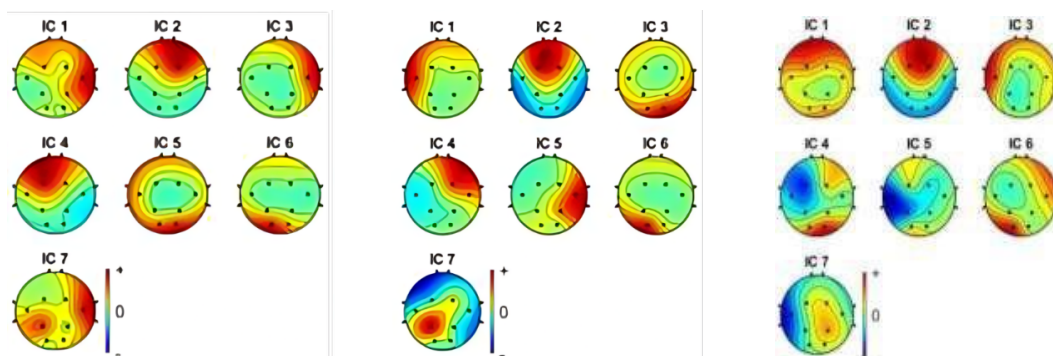


Figura 4. Topografía cerebral en tareas de razonamiento semántico en estado de activación participantes 1,2,3.
Nota: Identificación topográfica cerebral mediante mapas de calor durante el desarrollo de tareas de razonamiento semántico, donde el color rojo y anaranjado representa las zonas con mayor activación.

En la figura 4, del participante 1, se muestra mayor activación en zonas frontales bilaterales, parietal del hemisferio derecho, temporal y occipital. En el participante 2, se muestra una mayor actividad en los lóbulos frontales, pero en mayor medida en el hemisferio derecho, también en regiones parietales, temporales y occipitales. En el participante 3 se evidencia activación en zonas frontales bilaterales, parietales y temporales.



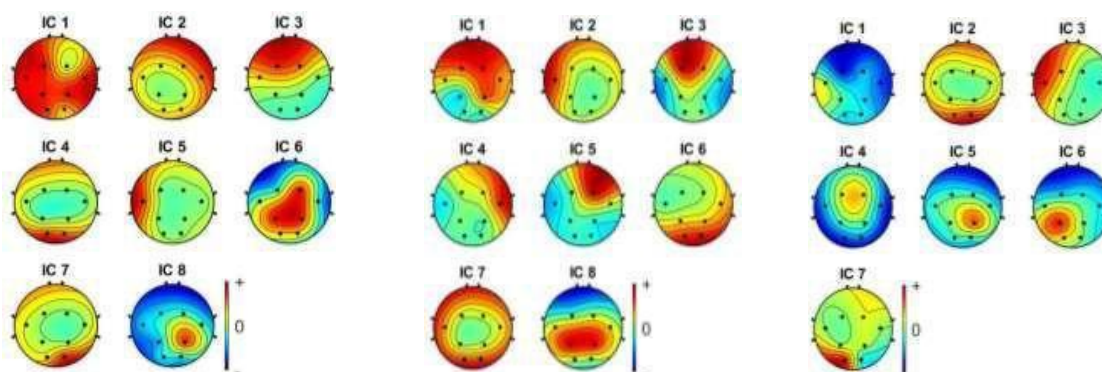
Participante 4

Participante 5

Participante 6

Figura 5. Topografía cerebral en tareas de razonamiento semántico en estado de activación participantes 4,5,6.
Nota: Identificación topográfica cerebral mediante mapas de calor durante el desarrollo de tareas de razonamiento semántico, donde el color rojo y anaranjado representa las zonas con mayor activación.

En la figura 5 del participante 4, se evidenció un artefacto externo en el canal 3, producido por fallas de contacto del electrodo con un vaso sanguíneo del cuero cabelludo, lo que producía alteraciones en el análisis de datos. Por esa razón se eliminó este canal para un mejor análisis de las señales, y se observó mayor actividad en los lóbulos frontales, también en regiones parietales, temporal derecho y occipitales. En el participante 5, se apreció un artefacto externo en el canal 1 de tipo muscular producido por movimientos bruscos, por lo que se eliminó este canal para un mejor análisis de las señales, evidenciando mayor activación en zonas frontales más en el hemisferio derecho, parietal derecho y occipital. En el participante 6, se puede observar que la activación se localiza en los lóbulos frontales y, en cierta medida, en los lóbulos parietales.



Participante 7

Participante 8

Participante 9

Figura 6. Topografía cerebral en tareas de razonamiento semántico en estado de activación participantes 7,8,9.
Nota: Identificación topográfica cerebral mediante mapas de calor durante el desarrollo de tareas de razonamiento semántico, donde el color rojo y anaranjado representa las zonas con mayor activación.

En la figura 6 del participante 7 se observa mayor activación en regiones frontales del hemisferio izquierdo y parietales bilaterales y occipitales. En lo que respecta al participante 8, se muestra mayor activación en zonas frontales, aunque con mayor actividad en el derecho, parietal derecho, temporal izquierdo y occipitales. Por último, en el participante 9 se constató un artefacto externo en el canal 3 producido por fallas de contacto del electrodo con un vaso sanguíneo del cuero cabelludo, lo que producía cambios en la señal, por lo que se excluyó este canal para un mejor análisis de las señales, llegando a observar mayor actividad en lóbulos parietales bilaterales y occipital izquierdo.

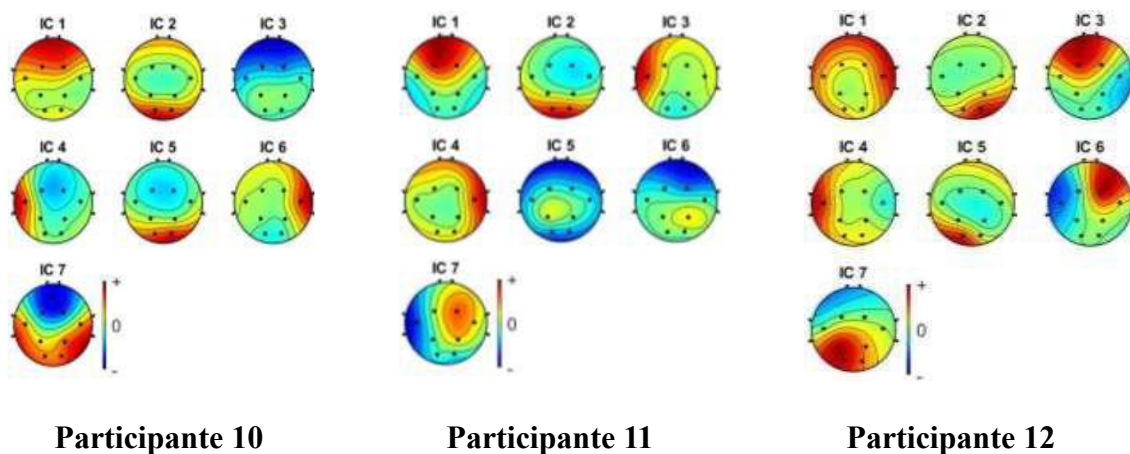


Figura 7. Topografía cerebral en tareas de razonamiento semántico en estado de activación participantes 10,11,12.
Nota: Identificación topográfica cerebral mediante mapas de calor durante el desarrollo de tareas de razonamiento semántico, donde el color rojo y anaranjado representa las zonas con mayor activación.

En la figura 7 del participante 10, se evidenció un artefacto externo en el canal 2 producido por persistente parpadeo, siendo este artefacto eliminado, llegando a evidenciar mayor activación en zonas temporales bilaterales y en menor intensidad en lóbulos frontales y occipitales. En el participante 11, se mostró un artefacto en el canal 1 producido por constantes movimientos de los ojos por lo que se eliminó este canal. De esta manera se evidenció una mayor activación en zonas frontales bilaterales, parietal derecho y temporales derecho. Por último, en el participante 12, se apreció un artefacto externo en el canal 1 producido por fallas de contacto del electrodo con un vaso sanguíneo del cuero cabelludo, por lo que se eliminó este canal para un mejor análisis de las señales, llegando a determinar mayor activación en zonas frontales bilaterales con mayor activación en el derecho, temporal derecho, parietal izquierdo y occipital izquierdo.

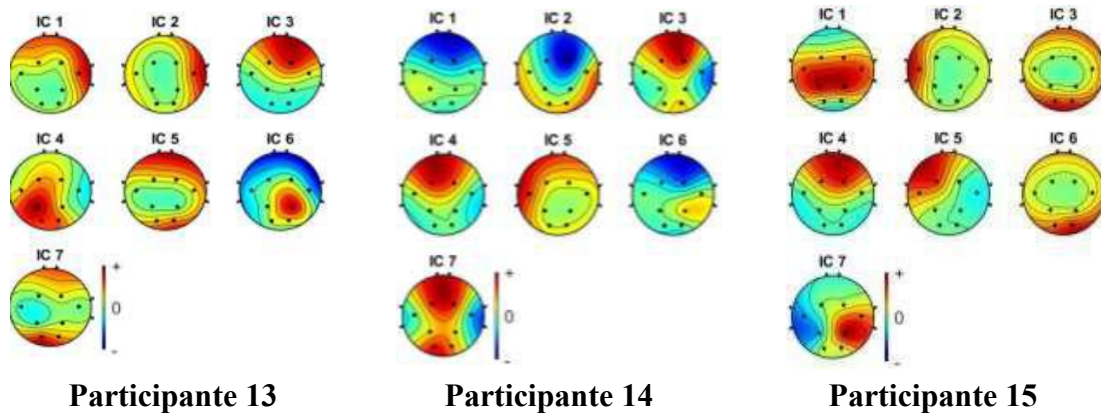


Figura 8. Topografía cerebral en tareas de razonamiento semántico en estado de activación participantes 13,14,15.
Nota: Identificación topográfica cerebral mediante mapas de calor durante el desarrollo de tareas de razonamiento semántico, donde el color rojo y anaranjado representa las zonas con mayor activación.

En la figura 8 del participante 13, se evidenció un artefacto en el canal 3 producido por constante parpadeo, por lo que se eliminó este canal, llegando a observar una mayor activación en zonas frontales bilaterales con mayor intensidad en el hemisferio derecho, parietales bilaterales y en menor intensidad occipitales y temporales. En lo que respecta al participante 14, se presentó un artefacto en el canal 1 producido de igual manera por constante parpadeo, por lo que se eliminó este canal, llegando a observar mayor activación en zonas frontales bilaterales y occipitales. En el participante 15 se evidenció un artefacto muscular en el canal 2 producido por constantes movimientos, por lo que se eliminó este canal para un mejor análisis de las señales. De esta manera se pudo observar mayor activación en zonas frontales bilaterales, parietales bilaterales, temporal derecho y occipital izquierdo.

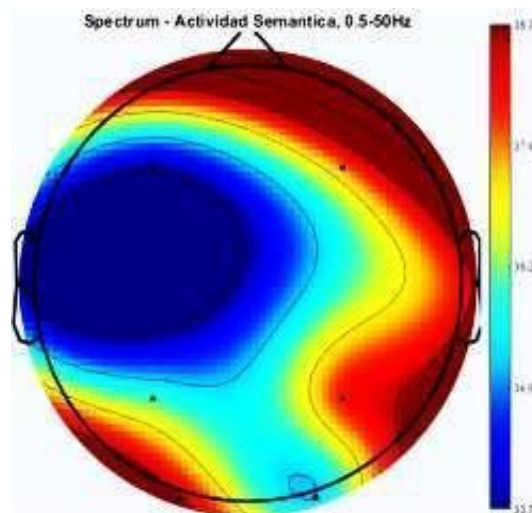


Figura 9. Mapeo topográfico cerebral general durante la solución de tareas de razonamiento semántico.
Nota: Mapeo general de los 15 participante durante el desarrollo de tareas de razonamiento semántico, donde las zonas cerebrales de color rojo y anaranjado representa las áreas con mayor activación.

En la figura 9 se muestra que, mediante el análisis del mapeo topográfico de los 15 participantes, al realizar tareas de razonamiento semánticas, se logró determinar que durante el desarrollo de este tipo de tareas cognitivas se evidencia mayor activación topográfica cerebral en regiones frontales bilaterales, aunque con mayor intensidad en el hemisferio derecho, activación parietal con mayor dominio sobre el hemisferio derecho y, por supuesto, a nivel occipital del hemisferio izquierdo.

Análisis de la localización topográfica cerebral durante el desarrollo de tareas de razonamiento visual

El análisis de la localización topográfica cerebral mediante la ejecución de tareas de razonamiento visual siguió el mismo proceso de las de tipos semánticas. A continuación, se muestran los mapas de calor de la topografía cerebral de los 8 canales.

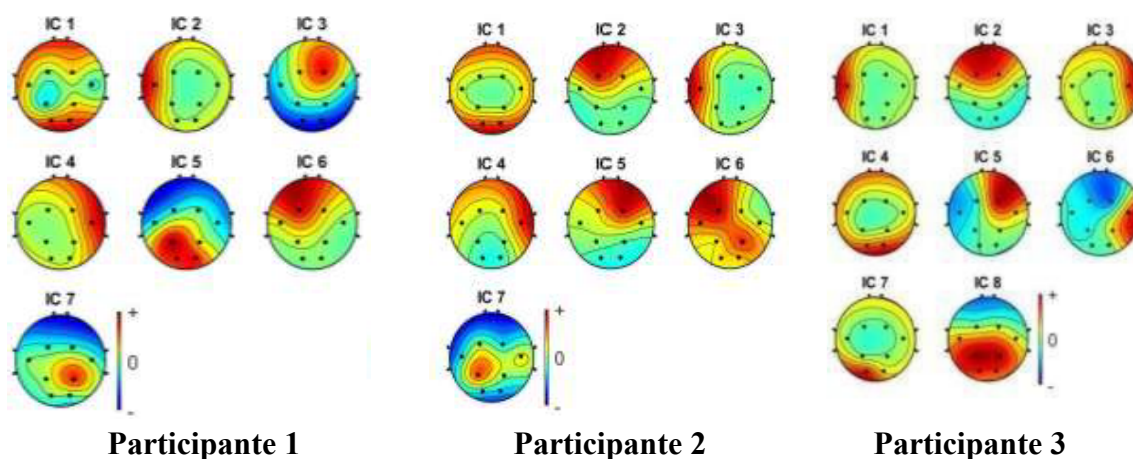


Figura 10. Topografía cerebral en tareas de razonamiento visual en estado de activación participantes 1, 2 y 3.
Nota: Identificación topográfica cerebral mediante mapas de calor durante el desarrollo de tareas de razonamiento visual, donde el color rojo y anaranjado representa las zonas con mayor activación.

En la figura 10 del participante 1 se evidenció un artefacto de tipo ocular, por lo que se eliminó, llegando a quedar 7 electrodos, evidenciando de esta manera mayor activación en zonas frontales bilaterales, parietal bilateral, occipital bilateral y poca activación en los lóbulos temporales. En el participante 2 existió la presencia de un ruido producido por fallas de contacto del electrodo con un vaso sanguíneo del cuero cabelludo, por lo que se lo eliminó, pudiendo observar mayor activación en lóbulos frontales, parietal derecho, temporal izquierdo y occipital derecho. Por último, en el participante 3 se observa mayor activación en zonas frontales, en específico el hemisferio derecho, parietales bilaterales, temporal derecho y occipital bilateral.

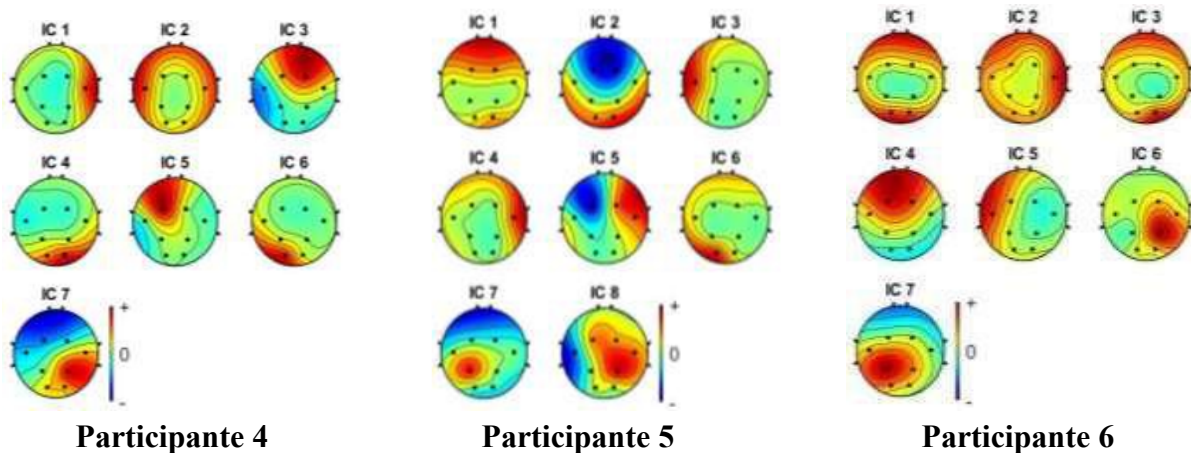


Figura 11. Topografía cerebral en tareas de razonamiento visual en estado de activación participantes 4,5,6.
Nota: Identificación topográfica cerebral mediante mapas de calor durante el desarrollo de tareas de razonamiento visual, donde el color rojo y anaranjado representa las zonas con mayor activación.

En la figura 11 del participante 4 se evidenció un artefacto externo en el canal 6, producido por fallas de contacto del electrodo con un vaso sanguíneo del cuero cabelludo, por lo que se eliminó este canal, llegando a observar activación en zonas frontales bilaterales, parietal derecho, temporal derecho y occipital izquierdo. En la figura del participante 5 existe presencia en zonas frontales de mayor activación en hemisferio derecho, parietales bilaterales, y occipital izquierdo. En el participante 6 se evidenció un artefacto externo en el canal 3 producido por fallas de contacto del electrodo con un vaso sanguíneo del cuero cabelludo, por lo que se eliminó este artefacto, llegando a observar mayor activación en zonas frontales bilaterales, parietales bilaterales y occipital izquierdo.

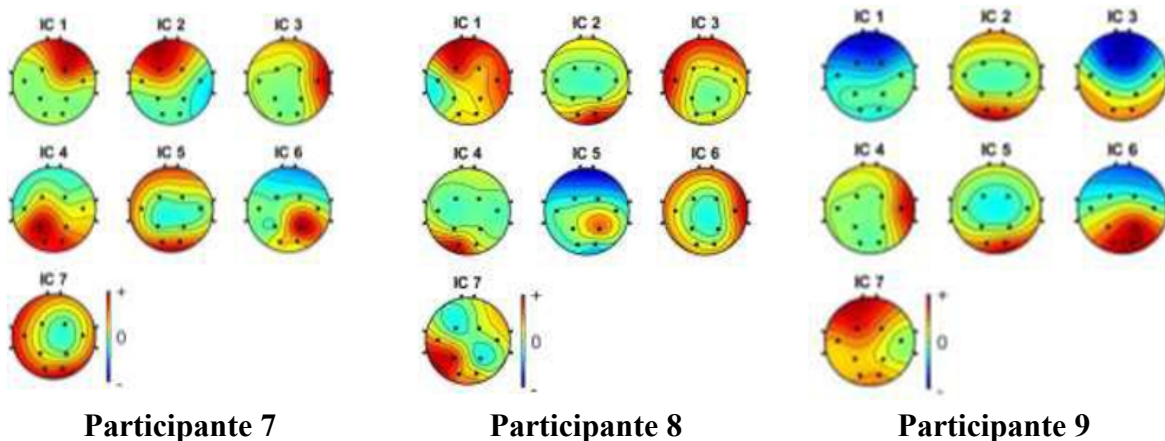


Figura 12. Topografía cerebral en tareas de razonamiento visual en estado de activación participantes 7,8,9.
Nota: Identificación topográfica cerebral mediante mapas de calor durante el desarrollo de tareas de razonamiento visual, donde el color rojo y anaranjado representa las zonas con mayor activación.

En la figura 12 del participante 7 se evidenció un artefacto externo en el canal 5, producido por fallas de contacto del electrodo con un vaso sanguíneo del cuero cabelludo, por lo que se eliminó este canal, llegando a observar una mayor activación en zonas frontales bilaterales,

parietales bilaterales, occipital bilateral y temporal derecho. En el participante 8 también se apreció un artefacto externo en el canal 5 producido por fallas de contacto del electrodo con un vaso sanguíneo del cuero cabelludo, por lo que se eliminó este canal, evidenciando activación en zonas frontales y en mayor medida en el hemisferio izquierdo, parietal derecho y occipital izquierdo. En el participante 9, se mostró un artefacto externo en el canal 4 producido por fallas de contacto del electrodo con un vaso sanguíneo del cuero cabelludo, por lo que se eliminó este canal, evidenciando mayor activación en el frontal izquierdo, temporal derecho, parietal derecho y occipital bilateral.

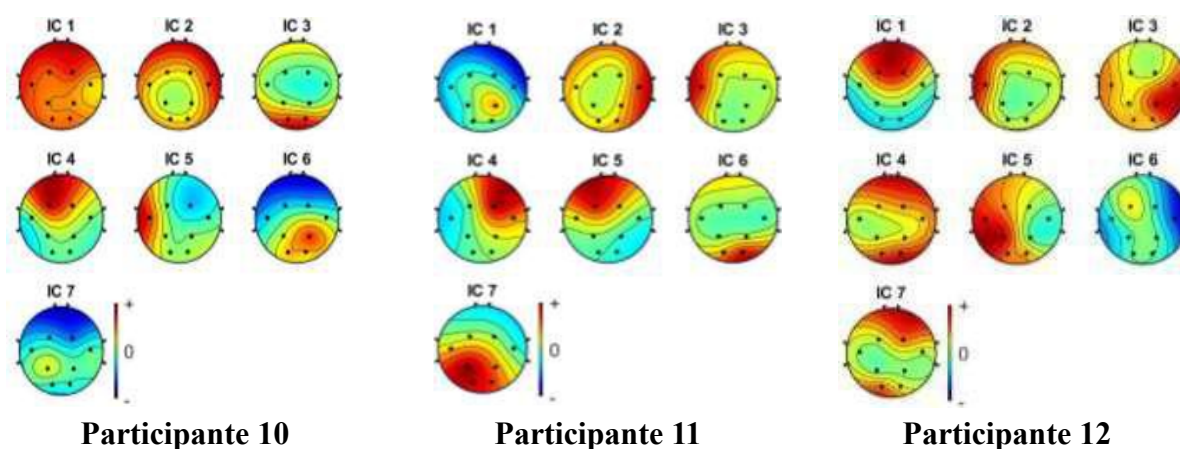


Figura 13. Topografía cerebral en tareas de razonamiento visual en estado de activación participantes 10,11,12.
Nota: Identificación topográfica cerebral mediante mapas de calor durante el desarrollo de tareas de razonamiento visual, donde el color rojo y anaranjado representa las zonas con mayor activación.

En la figura 13 del participante 10 se evidenció un artefacto externo en el canal 3 producido por persistentes movimientos bruscos, por lo que se eliminó este canal, por lo tanto, se puede evidenciar mayor activación (color rojo) en zonas bilaterales y parietales del hemisferio derecho e izquierdo. En el participante 11 se presentó un artefacto muscular en el canal 6 producido por movimientos bruscos. Se eliminó este canal para un mejor análisis de las señales, por lo que se observó mayor activación (color rojo) en zonas frontales bilaterales, parietal izquierdo y occipital bilateral. Por último, en el participante 12 se evidenció un artefacto ocular en el canal 1 originado por constante parpadeo de los ojos, por lo que se eliminó este canal obteniendo una mayor activación (color rojo) en zonas frontales bilaterales, parietales bilaterales y occipital izquierdo.

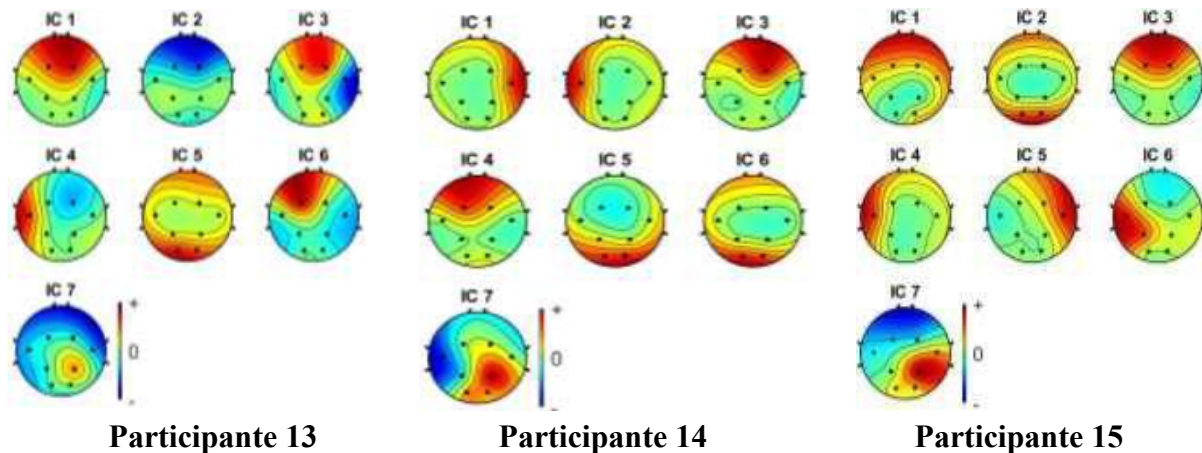


Figura 14. Topografía cerebral en tareas de razonamiento visual en estado de activación participantes 13,14,15
Nota: Identificación topográfica cerebral mediante mapas de calor durante el desarrollo de tareas de razonamiento visual, donde el color rojo y anaranjado representa las zonas con mayor activación.

En la figura 14 del participante 13 se evidenció un artefacto ocular en el canal 1 desencadenado por constante parpadeo de los ojos, por lo que se eliminó este canal, llegando a observar mayor activación (color rojo) en zonas frontales bilaterales y leve activación en el parietal izquierdo y occipital. En el participante 14, se constató un artefacto ocular en el canal 1 producido de igual manera por parpadeos constantes, por lo que se eliminó este canal, mejorando la señal y evidenciando mayor activación (color rojo) en zonas frontales bilaterales, parietal derecho, temporales y occipital bilateral. Por último, en el participante 15 existió la presencia de un artefacto de tipo muscular en el canal 8 producido por constantes movimientos, por lo que se eliminó este canal, llegando a observarse mayor activación (color rojo) en zonas frontales bilaterales, temporales bilaterales, parietal derecho y occipital bilateral.

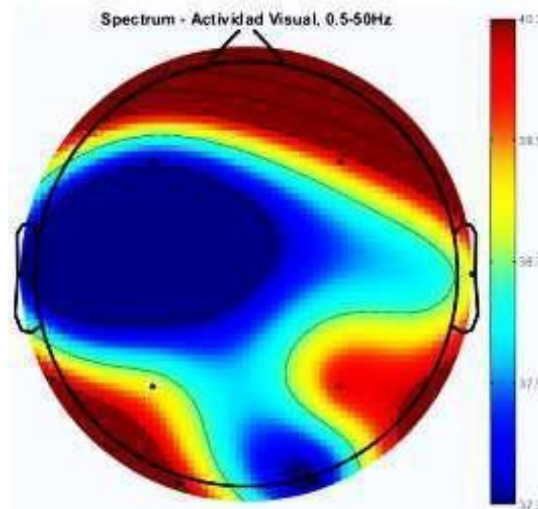


Figura 15. Mapeo topográfico cerebral general durante la solución de tareas de tipo visual.
Nota: Mapeo general de los 15 participantes durante el desarrollo de tareas abstractas visuales, donde las zonas cerebrales de color rojo y anaranjado representa las áreas con mayor activación.

En la figura 15 se observa el mapa topográfico de los 15 participantes desarrollando las tareas de razonamiento visual, evidenciando un elevado indicador de activación a nivel frontal y parietal bilateral, de igual manera actividad directamente en el lóbulo occipital del hemisferio izquierdo y activación sobre el lóbulo temporal del hemisferio derecho.

Análisis de la localización topográfica cerebral durante el estado del reposo

Para el análisis durante el tiempo de reposo se desarrolló con los ojos abiertos sin presencia de estímulos, con un intervalo de 5 segundos por cada bloque de los dos que conforman las tareas semánticas y visuales. Por lo tanto, se analizaron 20 segundos de reposo de los 15 participantes de las dos tareas (300 segundos totales). Esto mediante la observación del mapa de calor general que se observa en la figura 16.

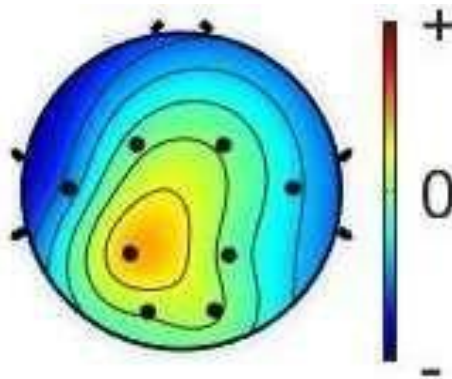


Figura 16. Mapeo topográfico cerebral general durante estado de reposo.

Nota: Mapeo general de los 15 participantes durante el estado de reposo sin realizar ninguna actividad con los ojos abiertos, donde las zonas cerebrales de color rojo y anaranjado representan las áreas con mayor activación.

Como se observa en la figura 16, se puede establecer que los participantes en el momento de no observar ningún estímulo por pantalla y, por ende, no realizar ningún esfuerzo cognitivo, las áreas cerebrales como los lóbulos frontales y temporales bilaterales poseen una baja activación cerebral. Algo similar ocurre en los lóbulos parietales y occipitales bilaterales donde la activación es poca.

Análisis de la actividad eléctrica cerebral del razonamiento semántico durante estado de actividad y reposo

El estado de actividad se efectuó mediante el desarrollo de tareas de razonamiento semántico de los 15 participantes por pantalla. Por el contrario, el tiempo de reposo se desarrolló con los ojos abiertos sin presencia de estímulos, con un intervalo de 5 segundos por cada bloque de los dos que conforman la tarea, por lo tanto, se analizaron 10 segundos de reposo de los 15 participantes (150 segundos totales); esto mediante la observación de las frecuencias dominantes del espectrograma. A continuación, se muestra en la figura 17 el espectrograma general de los 15 participantes en estado de actividad y reposo.

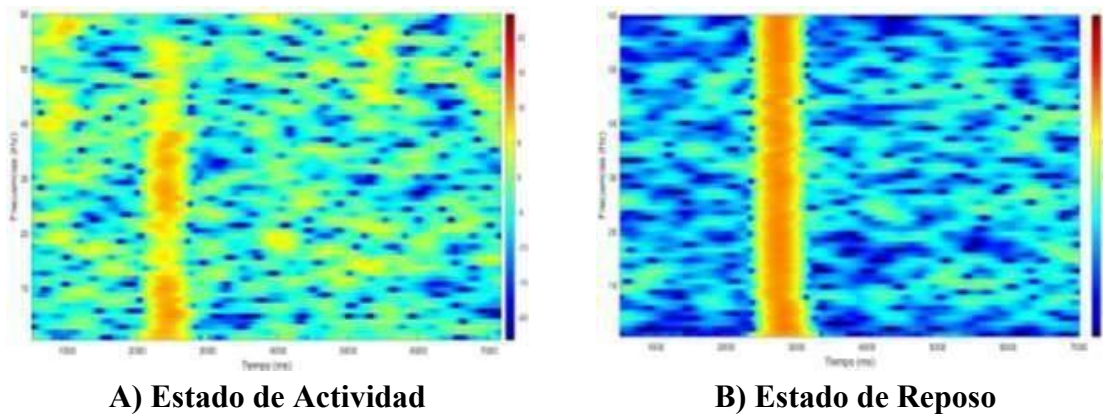


Figura 17. Actividad eléctrica cerebral del razonamiento semántico en estado de actividad y reposo.

Nota: Espectrograma general de los 15 participantes durante el estado de actividad y reposo con los ojos abiertos mediante el desarrollo de tareas de razonamiento semántico, donde los picos de colores claros (amarillo, anaranjado) representan el incremento de potencia de la actividad cerebral y las zonas de color azul representa poca actividad cerebral.

En la figura 17(A) durante el tiempo de desarrollo de tareas de razonamiento semántico, existió un incremento de potencia que llegó a los 55Hz en el milisegundo 2.00 a 2.800 en todos los ritmos (delta, theta, alfa, beta y gamma). También se observa que durante el resto de tiempo existieron pequeñas actividades cerebrales (color amarillo) debido al esfuerzo cognitivo al desarrollar este tipo de tareas. Por otra parte, en la figura 17(B) durante el tiempo de reposo sin la presencia de estímulos de razonamiento semánticos existió solamente un incremento de potencia de forma esporádica que superó los 60Hz en el milisegundo 2.100 a 3.000 en todos los ritmos (delta, theta, alfa, beta y Gamma). Sin embargo, lo que más llama la atención es que en la mayor parte del tiempo de reposo existió poca actividad cerebral (azul), disminuyendo todos los ritmos cerebrales a comparación del tiempo de actividad.

Análisis de la actividad eléctrica cerebral del razonamiento visual durante estado de actividad y reposo

El análisis de la actividad eléctrica cerebral mediante el desarrollo de tareas de razonamiento visual, siguió el mismo formato que las tareas de razonamiento semántico, que se desarrolló en estado de actividad y reposo con los ojos abiertos; esto mediante la observación y análisis de las frecuencias dominantes del espectrograma. A continuación, se muestra en la figura 18 el espectrograma general de los 15 participantes en estado de actividad y reposo.

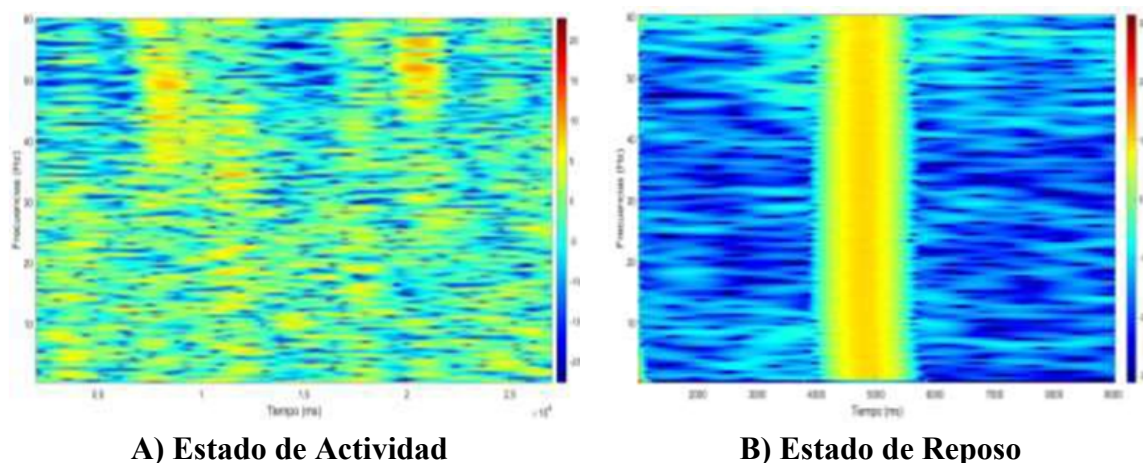


Figura 18. Actividad eléctrica cerebral del razonamiento visual en estado de actividad y reposo.
Nota: Espectrograma general de los 15 participantes durante el estado de actividad y reposo con los ojos abiertos mediante el desarrollo de tareas de razonamiento visual, donde los picos de colores claros (amarillo, anaranjado) representan el incremento de potencia de la actividad cerebral y las zonas de color azul representa poca actividad cerebral.

En la figura 18(A) se puede observar que, durante el tiempo de desarrollo de tareas de razonamiento visual, existió un incremento de potencias durante todo el desarrollo de las tareas que llegó varias veces a 60Hz (Gamma) al igual que otros ritmos cerebrales (delta, theta, alfa, beta), lo que supone que los participantes realizaron gran esfuerzo cognitivo al desarrollar de forma correcta las tareas de tipo razonamiento visual. Por otra parte, en la figura 18(B) durante el tiempo de reposo sin la presencia de estímulos de razonamiento visual existió solamente un incremento de potencia de forma esporádica que superó los 60Hz en el milisegundo 4.000 a 5.900 en todos los ritmos (delta, theta, alfa, beta y Gamma). También se observa que en la mayor parte del tiempo de reposo existe poca actividad cerebral (azul), disminuyendo todos los ritmos cerebrales en comparación del tiempo de actividad.

Discusión

El interés de la presente investigación es conocer e identificar las áreas y ondas cerebrales de las tareas de razonamiento abstracto semánticas y visuales. Los resultados descritos evidencian que, en general, mediante el desarrollo de tareas de razonamiento de tipo semánticas, se logró observar un incremento de potencia de forma generalizada y durante varios momentos del tiempo, de ondas rápidas cerebrales alfa, beta y gamma en regiones frontales bilaterales y parietales del hemisferio derecho. Estos resultados, por una parte coinciden con el estudio realizado por Chuderski (2016), el cual señala que mediante el rendimiento de una prueba de razonamiento se observa un incremento de las ondas beta y gamma en áreas frontales y parietales.

Esto significaría que debido a que las ondas gamma varían en frecuencia cuando aparecen distintos tipos de información, en especial al razonar, se produce una variación en su amplitud que se relacionaría con el número de estímulos que la persona perciba. En otras palabras, en las tareas de razonamiento, al existir complejidad y presencia de diferentes estímulos, las ondas gamma experimentan un incremento en su frecuencia, por lo que este tipo de oscilaciones suelen ser inestables.

Diversos estudios señalan que, al resolver diferentes tareas de razonamiento abstracto, se observa en el análisis de la actividad EEG la aparición de ritmos rápidos alfa, beta y gamma localizados en redes corticales frontales y parietales (Qazi et al., 2017), (Miasnikova et al., 2019); (Gagol et al., 2018); (Calvo et al., 2021); (Williams et al., 2019). Con respecto a este hallazgo, Liang et al. (2018) y Henríquez et al. (2019) mencionan que las áreas frontales y parietales son áreas implicadas en la facultad de resolver problemas abstractos, debido a que posibilita a la integración e interpretación de la información durante el transcurso del procesamiento de los estímulos presentes; por lo tanto, ambas áreas cerebrales desempeñan un papel fundamental en las funciones cognitivas de orden superior como es el caso del razonamiento.

Por otro lado, los resultados obtenidos de las áreas y ondas cerebrales de las tareas de razonamiento visuales revelan una mayor elevación de potencias de las ondas theta, alfa, beta y gamma con mayor activación en áreas frontales y occipitales. Siendo estos resultados consistentes con algunos estudios como los de Valle et al. (2020); Williams et al. (2019); Volk et al. (2018); Brzezicka et al. (2017), en donde refieren que el desarrollar tareas de analogías visuales produce un gran aumento de demanda cognitiva debido al proceso mental de abstracción, ocasionando a nivel cerebral una mayor oscilación de las ondas theta, alfa y gamma en zonas frontales y occipitales. Una de las explicaciones del porqué de la mayor activación en zonas frontales y occipitales lo argumentan Cedeño-Mero & Estévez-Abad (2022); Alamia et al. (2021); (Dix et al., 2016); Santarnecchi et al. (2017) quienes consideran que la activación de ambas zonas cerebrales se debe a que para el desenvolvimiento de este tipo de tareas los individuos requieren de la utilización de varios procesos cognitivos, entre ellos el aumento de la atención activa relacionado con la búsqueda visual y el procesamiento de los estímulos visuales.

En cuanto a las áreas y ondas cerebrales de los bloques en estado de reposo sin estímulos con los ojos abiertos de las tareas de razonamiento semánticas y visuales, se obtuvo como resultado una disminución de las frecuencias de ondas alfa, theta, beta y gamma, en especial de ondas rápidas en zonas frontales, parietales, temporales y occipitales en casi todo el tiempo de reposo. Este resultado permite determinar poca actividad cerebral cuando no se realiza ninguna tarea cognitiva. Estos resultados se asemejan a lo propuesto por Díaz et al. (2019) quienes han observado que cuando los individuos pasan de una posición de reposo con los ojos cerrados a ojos abiertos, se produce una situación caótica y alterada de las ondas rápidas beta y gamma, en mayor medida en regiones frontales y occipitales. Una de las explicaciones a estos resultados se debe a que los participantes, al no recibir en esos lapsos de segundos ningún estímulo, se produce una disminución de conexiones en las áreas frontales, parietales, temporales y occipitales, debido a la falta de respuesta inicial a la estimulación en comparación de los sujetos al recibir los estímulos.

Conclusiones

El objeto de la presente investigación fue identificar la localización topográfica y actividad eléctrica cerebral por medio de la técnica de electroencefalográfica, en función del desempeño en el paradigma que incluyó tareas de razonamiento semántico y visual, en una muestra de estudiantes universitarios. A partir de las pruebas demostradas en este estudio, se pudo establecer que las áreas cerebrales que tienen mayor activación durante la ejecución de tareas de razonamiento semántico, observadas mediante los mapas de calor, tienen un mayor predominio en los lóbulos frontales bilaterales, parietal con predominio sobre el hemisferio derecho y occipital izquierdo y en las tareas de razonamiento visual, activación en frontales y parietales

bilaterales, temporal derecho y en el lóbulo occipital con predominio en el izquierdo. En cuanto a la actividad electrofisiológica, por medio de la observación de los espectrogramas, existió en la mayoría del tiempo un aumento de potencias de forma generalizada de los ritmos alfa, beta, theta y gamma, concurriendo un mayor incremento de potencia de ondas rápidas.

Mediante la investigación se logró además concluir que, en la situación de reposo con los ojos abiertos durante un lapso de 10 segundos sin la presencia de estímulos, se observó la actividad cerebral con los registros de los espectrogramas que las potencias de todos los ritmos cerebrales delta, theta, alfa, beta y gamma redujeron en las áreas frontales, parietales, temporales y occipitales. Por consiguiente, se determinó que, en ambas situaciones, de actividad y reposo, existieron diferencias en cuanto al mapeo y actividad cerebral. Se debe mencionar que en tiempo de reposo se identificó una disminución de la actividad cerebral cuando los participantes no desarrollaban ninguna tarea cognitiva en comparación del tiempo de actividad.

Cabe recalcar, que dentro de la utilización de la técnica de electroencefalografía, la presencia de ruido fue un factor que dificultó la interpretación de las señales para el mapeo cerebral, por lo cual se eliminaron algunos canales en los participantes debido a la alta presencia de ruido que imposibilitaba una buena interpretación. Entre los ruidos con mayor presencia estuvieron los cardíacos, oculares y musculares. Estos se dieron por diferentes factores como colocación del electrodo en una arteria del cuero cabelludo, movimientos bruscos, constante parpadeo y ruidos ambientales del entorno. Asimismo, mientras más canales fueron eliminados, mayor fue la pérdida de información, por lo que se decidió solo excluir máximo un canal para reducir los ruidos.

Finalmente, el tema presentado demostró hallazgos favorables que están prestos a ser utilizados en futuras investigaciones en el país respecto al razonamiento, utilizando la técnica de electroencefalografía. Además, puede servir como elemento de utilidad clínica en el análisis y evaluación en diferentes condiciones de patologías como es en el caso de deterioro cognitivo leve, demencias, discapacidad intelectual entre otras.

Conflictos de Intereses

Los autores del presente trabajo declaran que no existen conflictos de intereses.

Referencias

- Alamia, A., Luo, C., Ricci, M., Kim, J., Serre, T., & VanRullen, R. (2021). 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>
- Brzezicka, A., Kamiński, J., Kamińska, O. K., Wołyńczyk-Gmaj, D., & 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>
- Cabral, A. (2015). Neuropsicología y la localización de las funciones cerebrales superiores en estudios de resonancia magnética funcional con tareas. *Acta Neurológica Colombiana*, 31(1), 92–100. <https://doi.org/10.22379/2422402214>
- Calvo, E., Blanch, Á., Ruiz, C., & Borrell, D. (2021). Rendimiento académico y aptitudes intelectuales en relación a la actividad mental para la resolución de tareas cognitivas en estudiantes de ESO. *Cuadernos del Marqués de San Adrián: Revista de Humanidades*, 13, 25–39.

- Cedeño-Mero, D., & Estévez-Abad, R. (2022). Localización cerebral y actividad eléctrica del razonamiento abstracto mediante electroencefalografía cuantitativa: Una revisión sistemática. *Revista Ecuatoriana de Neurología*, 31(1), 76–84. <https://doi.org/10.46997/revecuatneurol31100076>
- Chuderski, A. (2016). Fluid intelligence and the cross-frequency coupling of neuronal oscillations. *The Spanish Journal of Psychology*, 19, e91. <https://doi.org/10.1017/sjp.2016.86>
- Díaz, H., Cid, F., Flores, E., Gárate, E., & Muñoz, S. (2019). Intra and inter-individual variability in the chaotic component and functional connectivity of the EEG signal in basal eyes closed condition. *Procedia Computer Science*, 162, 966–973. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.077>
- Dix, A., Wartenburger, I., & Van der Meer, E. (2016). The role of fluid intelligence and learning in analogical reasoning: How to become neurally efficient? *Neurobiology of Learning and Memory*, 134, 236–247. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2016.07.019>
- Fernández, E. (2019). Uso de Matlab, clases de reforzamiento y rendimiento académico en estudiantes de análisis matemático-USP 2017 [Tesis de maestría, Universidad San Pedro].
- Gągol, A., Magnuski, M., Krocze, B., Kałamała, P., Ociepa, M., Santarnecchi, E., & Chuderski, A. (2018). Delta-gamma coupling as a potential neurophysiological mechanism of fluid intelligence. *Intelligence*, 66, 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2017.11.003>
- Henríquez, F., Martínez-Pernía, D., Forno, G., & Núñez-Huasaf, A. (2019). Anatomía funcional del córtex prefrontal y modelos de funcionamiento. Librería Akadia Editorial.
- Liang, Y., Liu, X., Qiu, L., & 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, 1943565. <https://doi.org/10.1155/2018/1943565>
- Miasnikova, A., Troshkov, D., Baklushev, M., & Perevoznyuk, G. (2019). Predicting states of abstract reasoning using EEG functional connectivity markers. In 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) (pp. 2451–2454). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8857031>
- Portellano, J., & García, J. (2014). Neuropsicología de la atención, las funciones ejecutivas y la memoria. Síntesis.
- Qazi, E.-H., Hussain, M., Aboalsamh, H., Malik, A., Amin, H., & Bamatraf, S. (2017). Single trial EEG patterns for the prediction of individual differences in fluid intelligence. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 687. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00687>
- Santarnecchi, E., Khanna, A., Musaeus, C., Benwell, C., Davila, P., Farzan, F., Matham, S., Pascual-Leone, A., & 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>
- Shunta, L. (2020). Revisión sistemática de literatura sobre paradigmas de razonamiento abstracto para resonancia magnética funcional (RMF) [Tesis de maestría, Universidad de Azuay].
- Stelzer, F., Andrés, M., Canet-Juric, L., & Introzzi, I. (2016). Memoria de trabajo e inteligencia fluida. Una revisión de sus relaciones. *Acta de Investigación Psicológica*, 6(1), 2302–2316. [https://doi.org/10.1016/S2007-4719\(16\)30051-5](https://doi.org/10.1016/S2007-4719(16)30051-5)
- Valle, T., Gómez-Ariza, C., & Bajo, T. (2020). Electrophysiological correlates of interference control at retrieval predict performance on a subsequent analogical reasoning task.

- Neurobiology of Learning and Memory, 173, 107253.
<https://doi.org/10.1016/j.nlm.2020.107253>
- Vázquez Espinosa, E., & Cahuich Cahuich, T. (2023). Análisis correlacional del razonamiento lógico abstracto y deductivo con el rendimiento académico en general y en el área matemática. RIEE | Revista Internacional de Estudios en Educación, 23(2), 87–101.
<https://doi.org/10.37354/riee.2023.232>
- Vílchez, J., & Orellana, E. (2021). Nivel de razonamiento abstracto en estudiantes universitarios. Transformación, 17(2), 373–384.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-29552021000200373&lng=es&tlng=es
- Villegas, B., & Rojas, M. (2019). Interfaz cerebro ordenador BCI mediante el uso de Emotiv Insight. Acta Nova, 9(1), 3–31.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892019000100002&lng=es&tlng=es
- Volk, D., Dubinin, I., Myasnikova, A., Gutkin, B., & Nikulin, V. (2018). Generalized cross-frequency decomposition: A method for the extraction of neuronal components coupled at different frequencies. Frontiers in Neuroinformatics, 12, 72.
<https://doi.org/10.3389/fninf.2018.00072>
- Williams, C., Kappen, M., Hassall, C., Wright, B., & 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>