



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Psicología



Maestría en Diagnóstico y Rehabilitación Neuropsicológica

TESIS:

***“CONECTIVIDAD FUNCIONAL DURANTE LA COMPRENSIÓN DE ORACIONES
COMPARATIVAS, TEMPORALES Y ESPACIALES EN PACIENTES CON DAÑO
CEREBRAL”***

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRO EN

DIAGNÓSTICO Y REHABILITACIÓN NEUROPSICOLÓGICA PRESENTA:

ÁNGEL OMAR ROMERO MOLINA

DIRECTOR:

Dr. LUIS QUINTANAR ROJAS

CO-DIRECTOR:

DR. HÉCTOR JUAN GONZÁLEZ PELAYO

ASESORA:

DRA. YULIA SOLOVIEVA

Puebla, Pue. Marzo 2020

Reconocimiento

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por proporcionarme la beca 782944 para la realización de este posgrado. También le agradezco por el otorgamiento de la beca mixta para la realización de la estancia de investigación bajo el proyecto titulado “Conectividad funcional durante la comprensión de oraciones comparativas, temporales y espaciales en pacientes con daño cerebral” en el Instituto de Fisiología del Desarrollo en Moscú, Rusia, del 10 de junio al 19 de julio de 2019.

A la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado de la BUAP por su apoyo para la realización de mi estancia de investigación. Igualmente, por apoyarme para poder asistir al X congreso nacional de Neuropsicología en la ciudad de Guadalajara, Jalisco, del 14 al 17 de noviembre de 2018 y presentar el trabajo “Caracterización lingüística de la producción de habla espontánea de un paciente con afasia acústico-mnésica”. De igual forma, por apoyarme para participar en el XVI Congreso de la Sociedad Latinoamericana de Neuropsicología (SLAN), en la ciudad de Lima, Perú, del 24 al 27 de octubre de 2019 donde presenté los avances de mi proyecto de tesis “Conectividad funcional durante la comprensión de oraciones comparativas, temporales y espaciales en pacientes con daño cerebral”, así como los trabajos “Utilidad de la evaluación neuropsicológica en el envejecimiento” y “Análisis neuropsicológico y lingüístico de un paciente con afasia semántica” este último haciéndome ganador del premio Juan Azcoaga.

Agradecimientos

- A Dios
- A mi madre por siempre estar allí y apoyarme incondicionalmente en todos los proyectos que he decidido emprender
- A mi padre
- A Mony quien se volvió una persona muy especial en este curso de la maestría, siempre dispuesta a apoyarme
- A Ángel de Luna por ser un excelente roomie, amigo y hermano adoptivo.
- A Marianne, Majo, Laura y Darío, grandes amigos con los que sé que siempre he podido contar y seguiré contando
- A Adri por ser mi hermana en la última sede clínica, siempre dispuesta a apoyarme en todos los trámites finales.
- A Regina, Camila, Catalina, Vero, Bryanda, Ileané, Averí y Cristian por ser excelentes amigos y compañeros
- A Nohemí y Vladimir por ser excepcionales hermanos mayores
- A Jesús y Christian por ser excepcionales hermanos menores
- A mi familia y amigos que directa o indirectamente estuvieron apoyándome todo este proceso
- A los Valtikan, por ser amigos incondicionales y entenderme cuando tuve que dejar la banda
- Al Dr. Héctor quien siempre me ha apoyado desde que tuve el gusto de conocerlo hace ya unos años
- Al Dr. Josaphat a quien le debo mi pasión por la lingüística clínica.
- Al Dr. Jesús Tapia por toda la paciencia que me brindó al momento de realizar mis análisis de EEG
- A los doctores Quintanar, Yulia, Charo, Marco, Arturo e Ignacio por ser un pilar más en mi formación académica
- A Chivis y Genny quienes siempre estuvieron al pendiente de cualquier duda que tuve durante los procesos administrativos de la maestría
- A la Dra. Machinskaya por aceptarme durante la estancia académica y a todo su equipo de trabajo por siempre recibirme con mucha amabilidad, en especial a Ilya y a Dima.
- A la Dra. Dora y la Dra. Tamara quienes siempre me han brindado su apoyo y consejo y han sido pilares en mi formación académica.

Dedicatoria

A una persona que por cuestiones de la vida no puede apoyarme físicamente, siempre pienso en ti Estela, gracias por todo.

Resumen

Introducción: El cerebro es el órgano más protegido, a pesar de esto, muchos procesos patológicos pueden dañarlo o alterar su funcionamiento. Una de las principales afecciones que pueden alterar el funcionamiento cerebral es el evento vascular cerebral (EVC). Se definen al EVC como cualquier anomalía del cerebro como resultado de un proceso patológico de los vasos vasculares. Una de las formas que se tiene para entender las secuelas neuropsicológicas que ocurren ante el daño cerebral es la conectividad funcional, ya que nuestro cerebro es una red formada por regiones distribuidas en diferentes zonas cerebrales, funcionalmente conectadas, las cuales permiten compartir información entre ellas.

Metodología: Se diseñó un estudio experimental, descriptivo, comparativo y transversal. Donde se elaboró un paradigma con 15 oraciones comparativas, 15 temporales y 15 espaciales. En el estudio participaron 3 sujetos sanos y 4 pacientes que presentaban un EVC menor a 6 meses. Los participantes debían seleccionar, entre 4 opciones, la imagen que correspondiera con la oración escuchada. Se obtuvieron registros de electroencefalograma (EEG) y se realizaron segmentos del registro de EEG donde se analizó la densidad de potencia al momento de procesar la comprensión de cada tipo de oración.

Resultados: Se observó heterogeneidad en la activación de los ritmos del EEG, evidenciando un aumento en la densidad de potencia en diferentes regiones cerebrales y en diferentes bandas, lo que nos permite suponer la participación de sistemas funcionales complejos para la solución de tareas de comprensión de diferentes tipos de oraciones.

Índice

| | |
|---|-----|
| 1. Planteamiento de la investigación | 6 |
| 1.1 Elección del tema y objeto de estudio | 6 |
| 1.2 Justificación | 9 |
| 1.3 Viabilidad y pertinencia | 11 |
| 1.4 Planteamiento de problema | 11 |
| 1.5 Objetivo general | 13 |
| 1.6 Objetivos específicos | 13 |
| 1.7 Hipótesis | 13 |
| 2. Enfoque teórico-metodológico | 14 |
| 2.1 Antecedentes | 14 |
| 2.2 Concepción teórica | 17 |
| 2.3 Metodología | 22 |
| 3. Desarrollo de investigación | 26 |
| 3.1 Tipo y diseño de investigación | 26 |
| 3.2 Población | 26 |
| 3.3 Descripción de los participantes | 27 |
| 3.4 Instrumentos | 28 |
| 3.5 Diseño experimental | 29 |
| 3.6 Registro de EEG | 30 |
| 3.7 Técnicas para el análisis de los datos | 31 |
| 3.7.1 Análisis de resultados | 31 |
| 3.7.2 Análisis Estadísticos | 32 |
| 4. Resultados | 32 |
| 4.1 Resultados conductuales | 32 |
| 5.1 Resultado del análisis espectral promediado a través de la densidad de potencia de cada banda del EEG | 36 |
| 5.2 Ejemplo del análisis espectral del procesamiento de una sola oración a través de la densidad de potencia de cada banda del EEG | 83 |
| 6. Discusión | 85 |
| 6.1 Limitaciones | 91 |
| 7. Conclusiones | 92 |
| 8. Referencias | 93 |
| 9. Anexos | 101 |

1. Planteamiento de la investigación

1.1 Elección del tema y objeto de estudio

El cerebro es el órgano más protegido, a pesar de esto, muchos procesos patológicos pueden dañarlo o alterar su funcionamiento (Carlson, 2014). Una de las principales afecciones que pueden alterar el funcionamiento cerebral es el evento vascular cerebral (EVC).

Ropper y Brown (2005) definen al EVC como cualquier anomalía del cerebro como resultado de un proceso patológico de los vasos vasculares. Esto se da por la oclusión del lumen de la arteria por un embolo o trombo, la ruptura de un vaso, la alteración en la permeabilidad de una pared vascular o el incremento de viscosidad u otro cambio en la calidad de la sangre que fluye por los vasos cerebrales.

Se da el nombre de enfermedad cerebrovascular a cualquier alteración en el funcionamiento cerebral originado en alguna condición patológica de los vasos sanguíneos. La patología vascular puede observarse en las paredes de los vasos, por acumulación de material, por cambios en la permeabilidad o por ruptura de sus paredes. Puede ocluirse el flujo sanguíneo por la presencia de un trombo o un émbolo, o por un incremento en la viscosidad de la sangre (Adams & Victor, 1985).

Dentro de los ACV se distinguen dos grandes grupos: los accidentes isquémicos y los accidentes hemorrágicos (Ardila, 2005):

- Isquemias

En los ACV isquémicos los síntomas aparecen debido a un decremento o interrupción del flujo sanguíneo en el tejido cerebral. Esta disminución puede ser debida a Trombosis, la cual se refiere a la creación de una formación que interrumpe el flujo sanguíneo en el sitio mismo de su formación; a un Embolismo, el cual es un coágulo, burbuja de aire, grasa, o cualquier otra colección de material, taponan un vaso pequeño después de haberse transportado por el torrente circulatorio de los vasos de mayor calibre; o a la reducción en el flujo sanguíneo cerebral, debida frecuentemente al endurecimiento de las arterias (arteriosclerosis), o a la inflamación de los vasos (vasculitis).

- Hemorragias

Los ACV hemorrágicos son secundarios a la ruptura de un vaso que permite la filtración de sangre dentro del parénquima cerebral. La severidad puede variar desde una hemorragia pequeña, a veces asintomática, hasta una hemorragia masiva que produzca la muerte. La causa más frecuente de los ACV hemorrágicos es la hipertensión arterial. Las hemorragias producidas por hipertensión generalmente son intracerebrales. Cuando se trata de hemorragias grandes, se produce el desplazamiento de otras estructuras cerebrales y frecuentemente la sangre invade los ventrículos cerebrales. La segunda causa más frecuente de ACV hemorrágicos es la ruptura de un aneurisma. Los aneurismas se refieren a protusiones o embombamientos en las paredes de las arterias debido a defectos en la elasticidad de las mismas

Es evidente que todas estas manifestaciones clínicas pueden causar secuelas en el desempeño cognitivo de los sujetos que padecen un EVC por lo tanto algunos de los aspectos más importantes de la Neuropsicología son la evaluación y el diagnóstico, para ello se recurre a

procedimientos tanto clínicos como experimentales, desde una perspectiva cuantitativa y cualitativa, esto con el fin de diseñar programas que permitan la rehabilitación de alteraciones cognoscitivas (Ardila y Rosselli 2007).

Una de las formas que se tiene para entender las secuelas neuropsicológicas que ocurren ante el daño cerebral es la conectividad funcional, ya que nuestro cerebro es una red formada por regiones distribuidas en diferentes zonas cerebrales, funcionalmente conectadas, las cuales permiten compartir información entre ellas.

La conectividad funcional se define como la dependencia temporal de los patrones de activación neuronal de regiones cerebrales que anatómicamente están separadas, sin embargo, la conectividad funcional también puede existir entre regiones que no estén directamente enlazadas por haces axonales. En ese sentido, la comunicación funcional entre regiones permite llevar a cabo procesos cognitivos integrando información a través de diferentes regiones cerebrales (Van den Heuvel y HulshoffPol, 2011).

En el cerebro concurren dos principios complementarios de organización, la segregación y la integración funcional. A continuación se explican ambos conceptos. La segregación funcional se refiere a que existen algunas tareas que pueden asociarse a regiones concretas del cerebro, tratando de delimitar las diferentes regiones asociadas a funciones especializadas más primarias. Por otro lado, la integración funcional indica que las funciones cerebrales están ligadas de manera dinámica y no como una sucesión jerárquica. Los procesos en el cerebro no convergen en un solo lugar, sino que ocurren de forma paralela y a través de una estructura distribuida de diferentes áreas que están implicadas para crear una experiencia completa (Proal, De la Iglesia Vaya y Castellanos, 2013).

Entonces, el cerebro está organizado en un conjunto de redes ampliamente distribuidas. Por lo tanto, aunque el daño cerebral pudiera ser focal, la disfunción puede ocurrir en regiones conectadas al área de la lesión que no precisamente se encuentren cerca, en ese sentido, la investigación se había centrado en el estudio de procesos aislados, pues no se contaba con técnicas que pudieran valorar el análisis de toda la conexión cerebral (Carter, Shulman, y Corbetta, 2012).

La comunicación funcional entre regiones es de suma importancia para llevar a cabo procesos cognitivos integrando información a través de diferentes regiones cerebrales (integración funcional), gracias a esto, es posible delimitar redes o circuitos de conectividad funcional completos que, a su vez, resultan útiles para conocer más a fondo la organización del cerebro y así delinear los posibles correlatos neuronales relacionados con diferentes patologías (Proal, Álvarez-Segura, de la Iglesia-Vayá, Martí-Bonmatí y Castellanos, 2011).

En resumen, para beneficiar la comprensión de los trastornos neurológicos, debe abandonarse la idea que se enfoca en localizar funciones del cerebro en zonas específicas, ya que un marco conceptual, basado en la conectividad y la comunicación neuronal, a través de diferentes regiones cerebrales organizadas en conjuntos de redes funcionales permitirá comprender de mejor forma el funcionamiento cerebral (Carter, Shulman, y Corbetta, 2012).

1.2 Justificación

Entender a fondo la manifestación del daño ocasionado por eventos vasculares cerebrales, actualmente, toma particular importancia, debido a que, además de las diferentes clasificaciones de estos, puede afectar diferentes zonas del cerebro dependiendo de la constricción o daño arterial, por tanto, la necesidad de desarrollar líneas de investigación

puede brindar información útil, ampliando el conocimiento del funcionamiento cerebral ante los diferentes tipos de daño. Esto permitirá ayudar a crear mejores condiciones para que el diagnóstico y tratamiento de los pacientes sea más eficaz.

El cerebro humano es una compleja red de regiones interconectadas estructural y funcionalmente. Recientes estudios científicos han demostrado que la comunicación entre diferentes áreas del cerebro, desempeña un papel fundamental en el procesamiento de diferentes procesos cognoscitivos. Es por ello que la integración de la información a través de las distintas regiones del cerebro es objeto de estudio en la actualidad. Por lo tanto, la exploración de la conectividad cerebral proporciona nuevas perspectivas de estudio de la organización del cerebro humano (Proal, De la Iglesia Vaya y Castellanos, 2013). En ese sentido, es de suma importancia comprender la conectividad dentro de una red de trabajo, tanto para entender su función normal como para explicar la viabilidad de una correcta recuperación cerebral (Catani, Jones y ffytche, 2005).

La función de cualquier proceso cognoscitivo no puede ser entendido de forma aislada, debe ser valorado a través del trabajo en conjunto que realizan diferentes áreas cerebrales (Seghier, Zeidman, Neufeld, Leff y Price, 2010). Por ende, se requiere de un análisis neuropsicológico que sea complementado con una perspectiva fisiológica y neurolingüística. En ese sentido, resulta de gran importancia abordar el tema de la comprensión del lenguaje a través de diferentes prácticas neuropsicológicas y técnicas electrofisiológicas permitiendo entender la dinámica de la actividad cerebral que subyace a algún tipo de daño en su base biológica.

Finalmente, Proal y sus colaboradores (2013) mencionan que el objetivo es poder delimitar redes o circuitos de conectividad funcional completos que permitan conocer más a fondo la

organización del cerebro y así delinear los posibles correlatos neuronales relacionados con diferentes patologías.

1.3 Viabilidad y pertinencia

El lenguaje es un proceso psicológico que no puede ser entendido de una manera simple, ya que cuenta con una estructura gramatical compleja sobre la cual se sientan las bases que garantizan su correcta comprensión y producción. Debido a su naturaleza social, tal como lo plantea Luria (1974), la estructura de este se torna más compleja, ya que tampoco puede ser entendido en términos de centros específicos encargados de desempeñar toda la función lingüística, sino como sistemas funcionales complejos que se encuentran distribuidos en la corteza cerebral y que funcionan de manera dinámica para ser concebidos conductualmente como lenguaje. Para estudiar el lenguaje y cada uno de sus aspectos, es esencial realizar un análisis correcto desde el nivel apropiado, es decir, sintagmático o paradigmático, según fuera el caso.

Dadas las consecuencias del daño cerebral en el lenguaje, la neurolingüística ha realizado excelentes aportes en conjunto con la psicología y la fisiología que han permitido desarrollar métodos de estudio para el procesamiento del lenguaje en diferentes contextos, no solo en la patología sino también en la normalidad (Willmes, 1998).

1.4 Planteamiento de problema

En México, la incidencia de EVC ha aumentado dramáticamente, desde el año 2000 hasta el 2008 la mortalidad por éste padecimiento llegó a 28.4/100,000 habitantes sobre to sobre todo entre personas adultas menores de 65 años (Chiquete, y otros, 2011). La frecuencia de los

accidentes cerebrovasculares es variable de acuerdo a los diferentes tipos. En un estudio realizado con 669 pacientes en hospitales de la Ciudad de México se encontró que 72.94% correspondían al tipo isquémico, 6.8% por hemorragia subaracnoidea y 20.17% por hemorragia parenquimatosa (Cabrera Rayo, y otros, 2008).

Por lo tanto, la participación del neuropsicólogo es fundamental, ya que se puede obtener un diagnóstico preciso que ayude a entender las alteraciones de los pacientes y, con esa herramienta, dar una atención temprana creando programas de intervención, contribuyendo en la integración de estrategias y servicios, los cuales no se brindan actualmente de manera oficial en la mayoría de los espacios de atención pública (Ramírez y Téllez, 2016).

Se ha observado que, en los primeros meses, posteriores a un daño en pacientes con daño cerebral existe un cierto grado de recuperación espontánea, en la cual parece existir una mejoría de los síntomas. Dichos cambios normalmente dependen del estilo de vida y de la actitud del paciente, lo cual no siempre se señala en las publicaciones.

Una de las hipótesis que se tiene respecto a esta reorganización de las funciones, es que a través de un proceso de enseñanza, debidamente organizado, permite al paciente un grado de independencia y actividad lo más similar posible a la etapa premórbida. Se ha llegado a la conclusión de que es posible aumentar los cambios positivos, cuando se implementan tempranamente programas de rehabilitación neuropsicológica (Raymer, y otros, 2008).

Sin embargo, aún no se conocen de todo las bases neurales que subyacen a ciertos procesos cognitivos, por lo tanto, aunque se realice un diagnóstico neuropsicológico oportuno, es importante manifestar las causa fisiológicas que están denotando el problema. En ese sentido, esta investigación permite dar una explicación a los cambios electrofisiológicos que

subyacen la comprensión de diferentes tipos de oraciones tanto en pacientes como en sujetos sanos.

1.5 Objetivo general

Analizar la actividad eléctrica cerebral durante la comprensión de oraciones con elementos comparativos, temporales y espaciales en pacientes con daño cerebral y en sujetos sanos.

1.6 Objetivos específicos

- Describir la actividad eléctrica cerebral en las diferentes bandas cerebrales asociadas a la comprensión de oraciones en pacientes con evento vascular cerebral y sujetos sanos.
- Analizar los aciertos y errores entre las diferentes oraciones al ejecutar una tarea de comprensión del lenguaje.
- Analizar los tiempos de respuesta entre las diferentes oraciones al ejecutar una tarea de comprensión del lenguaje.

1.7 Hipótesis

El análisis de la actividad eléctrica en sujetos sanos permitirá entender el procesamiento de diversas áreas cerebrales que operan en la comprensión de oraciones, evidenciando un predominio de bandas de baja frecuencia en el sector cortical afectado en los registros de los pacientes.

Se observará un predominio de ondas beta en sectores parieto-occipitales izquierdos en sujetos sanos ante la comprensión de oraciones y en sectores contralaterales al foco de la lesión en los registros de los pacientes.

2. Enfoque teórico-metodológico

2.1 Antecedentes

El estudio de la relación entre lenguaje y lesiones cerebrales tiene sus orígenes aproximadamente en el año 1700 A.C con las prácticas quirúrgicas realizadas en el antiguo Egipto, donde ante lesiones traumáticas los médicos de la época sospechaban de una relación causal entre lesiones cerebrales específicas y la falta de lenguaje (Breasted, 1930). Posteriormente, en la antigua Grecia la relación cerebro-lenguaje despertó gran interés entre los grandes pensadores de la época, uno de ellos fue Hipócrates quien con sus seguidores, observaron diferentes trastornos del lenguaje asociados a lesiones cerebrales (Finger, 2000). En 1481, Antonio Guaineiro fue el primero en localizar, explícitamente, alteraciones afásicas en una zona específica del cerebro (Prins y Bastiaanse, 2006).

Fue hasta la segunda mitad del siglo XX que este tema fue adoptado firmemente por neurocientíficos clínicos y experimentales (Eling y Withaker, 2010). Franz Joseph Gall y

Johann Gaspar Spurzhein, desarrollaron el llamado sistema frenológico, a través del cual cada facultad psíquica tenía su asiento en determinada parte del cerebro detectable por la forma del cráneo. Años más tarde, los trabajos de Paul Broca (1824-1880) sustentaron la hipótesis de que las funciones psicológicas complejas tienen un sustrato material en la corteza cerebral. Diez años después este trabajo se vio complementado por el neurólogo alemán Carl Wernicke (1848-1905), (Álvarez, Trápaga & Morales, 2005). Este periodo, la investigación cerebral se caracterizó por el establecimiento de correlaciones anatómicas y clínicas. En esa época el modelo vigente podría definirse como la localización de funciones cognitivas en centros particulares del cerebro con un enfoque clínico.

Los hallazgos de Paul Broca en 1861 y, posteriormente, de Wernicke en 1874 estimularon una serie de investigaciones clínicas tanto a favor de la localización de funciones como en su contra. El neurólogo Hughlings Jackson elaboró varias hipótesis que refutaban seriamente las ideas del “localizacionismo” que imperaba en su época. Jackson pensaba que la “facultad del lenguaje” no existía como tal en un área específica del cerebro, y que las dificultades de la expresión involucraban a diferentes zonas cerebrales. De ese modo, era imposible la localización de una función a partir de un síntoma, mostrando la necesidad de analizar las relaciones que se establecían en los diferentes niveles del sistema nervioso (Hughlings Jackson, 1866).

Como resultado de esta confrontación científica, se desarrolló la teoría del funcionamiento cerebral equipotencial de Lashley (1929) y Goldstein (1948). Esta idea presupone que los procesos psicológicos se apoyan en el cerebro como un todo, sin depender de sus partes específicas. Bajo esta postura “antilocacionista” la corteza cerebral actúa como un todo homogéneo, cuya destrucción conduce a una perturbación uniforme de las facultades

intelectuales. Gracias a estas aportaciones, se permitió establecer una concepción más holista de las funciones cognitivas (Ludwing, 2012).

Pavlov realizó una revisión del concepto “función”, el cual fue interpretado como el resultado de la compleja actividad refleja que agrupa, en un trabajo conjunto, un mosaico de sectores excitados e inhibidos del sistema nervioso, los cuales realizan el análisis y la síntesis de las señales que llegan al organismo y que elaboran el sistema de conexiones temporales asegurando el equilibrio entre el organismo y el medio (Luria, 1986). Este avance implicó la necesidad de considerar al funcionamiento cerebral no como una simple colección de funciones delimitadas estrictamente por sectores, sino como la participación compleja de varias áreas. Esta forma de pensamiento daría como resultado las primeras nociones del sistema funcional complejo propuesto por Anojin (1987).

Durante la primera mitad del siglo XX, la Neuropsicología clínica tuvo un gran desarrollo debido a la cantidad significativa de pacientes con heridas de bala que dejaron las guerras mundiales, ya que estos requerían de técnicas nuevas para la rehabilitación de los procesos psicológicos. Durante este periodo se consolidó un enfoque que permitía la descripción detallada de las funciones cognoscitivas y el análisis de sus componentes, destacando los trabajos de Alexander Romanovich Luria, quien desde la tradición reflexológica de Pavlov, propuso una definición y análisis de las funciones psicológicas que superó el reduccionismo localizacionista de la época (Rodríguez, 2009).

En ese sentido, las aportaciones teóricas de Luria permitieron comprender profundamente la relación existente entre los distintos sectores cerebrales y su aportación específica a la actividad del lenguaje (Luria, 1978).

Actualmente, se han realizado innumerables estudios que involucran diferentes técnicas de estudio desde diferentes disciplinas para comprender la actividad lingüística, su estructura y fisiología. Esto con la finalidad de tener un mejor acercamiento al estudio de las funciones cognitivas y su relación con el cerebro.

2.2 Concepción teórica

La neuropsicología en la escuela soviética, donde uno de sus principales exponentes es Alexander Luria propone el concepto de sistema funcional complejo para explicar la localización sistémica y dinámica de las funciones psicológicas superiores, dentro de las que se encuentra también al lenguaje.

Luria (1974), en lugar de concebir unos “centros” de los procesos psíquicos complejos, propone los conceptos de estructuras dinámicas o constelaciones de zonas cerebrales. Cada zona cerebral que participa en la realización del sistema funcional, que son la base de la función psicológica superior, es responsable de un factor determinado; su destrucción (o cambio patológico) conduce a la alteración del trabajo del sistema funcional correspondiente (Xomskaya, 2002).

Luria (1984), haciendo una síntesis de las teorías localizacionistas y no localizacionistas y considerando que las funciones psicológicas superiores se han formado a través de un largo desarrollo histórico, siendo sociales en su origen y jerárquicas en su estructura, plantea una reconsideración de los conceptos de función, localización y síntoma que incluye varios postulados conceptuales:

Función: en oposición a la noción de que un tejido particular realiza una función psicológica, Luria propone que las funciones se encuentran conformadas por sistemas funcionales complejos, de modo que una tarea puede ser ejecutada con la participación de varios sectores. De esta manera, los procesos mentales tales como percepción, memorización, gnosias, praxias, lenguaje, pensamiento, escritura, lectura y aritmética no pueden ser consideradas como facultades aisladas e indivisibles.

Localización: Las funciones, en forma de sistemas funcionales complejos no pueden ser atribuidas a un área particular del cerebro, sino que están organizadas en sistemas de zonas que trabajan concertadamente, cada una de las cuales ejerce su papel dentro del sistema funcional complejo y que pueden estar situadas en áreas completamente diferentes, y a menudo muy distantes del cerebro. Es importante mencionar que éstos no son estáticos sino que van cambiando durante el desarrollo. Por lo tanto, no podemos localizar directamente a los procesos psicológicos superiores. Se debe averiguar qué grupos de zonas de trabajo concertado del cerebro son responsables de la ejecución de la actividad mental compleja, así como el aporte de cada una de estas zonas al sistema funcional complejo y cómo se modifica la relación entre estas partes, de trabajo concertado, del cerebro en la realización mental compleja, a lo largo de las distintas etapas del desarrollo.

Síntoma: Una lesión de una determinada zona puede conducir a la desintegración de todo el sistema funcional, y de este modo el síntoma no nos dice nada sobre su localización. Se debe realizar una cualificación detallada del sistema observado para obtener las causas inmediatas del colapso del sistema funcional.

Con estos postulados se concluye que una lesión cerebral afectará el trabajo específico de una determinada zona, no de una función psicológica. Sólo podremos ver las manifestaciones

en las tareas que involucran la participación de ese factor pero se mantendrán conservadas aquellas que no requieran su participación.

En ese sentido, dentro de la psicología histórico-cultural se concibe al lenguaje como una actividad de estructura psicológica compleja; dicha actividad comienza con el motivo de comunicar algo a alguien, esto, en un principio es solo pensamiento y posteriormente se transforma en una estructura sintáctica superficial y más tarde se ve reflejada como una expresión desarrollada (Luria, 1978).

El lenguaje, más allá de ser una capacidad para comunicarse, se debe entender como una formación compleja y relevante para todos los procesos psíquicos de las personas. El lenguaje que el hombre usa para comunicarse y para organizar los procesos psíquicos, es un sistema complejo de códigos que nos ayuda a designar objetos conocidos en complejos auditivos condicionales, para formar conceptos, y para desarrollar el pensamiento dentro de ciertos contextos (Luria, 1964).

La aparición del lenguaje no ocurrió al azar, más bien es el producto del desarrollo histórico cultural. Al surgir la sociedad humana basada en la actividad conjunta de los hombres surgió también la forma más desarrollada de la actividad psíquica, la conciencia. La conciencia humana socialmente condicionada, refleja la realidad por medio del lenguaje. El lenguaje fija la experiencia social de la humanidad, la práctica social y las ideas creadas por la sociedad (Smirnov, Rubinstein, Leontiev y Tieplov, 1960).

En ese sentido, el lenguaje como función psicológica superior nace de la necesidad de los individuos para comunicarse entre sí y sirve como mediatizador del pensamiento y la experiencia, donde la palabra o sonido es el "signo" que funge como medio de comunicación

el cual se encuentra asociado con el contenido de alguna experiencia y sirve para transmitir el mismo contenido a otros seres humanos (Vigotsky, 1995).

Luria (1980) describe el proceso psicológico de la comprensión de la comunicación verbal en tres etapas:

a) Comprensión de los elementos léxicos:

Consiste no solo en percibir directamente una palabra, sino que implica seleccionar entre significados particulares contextuales de la palabra, entendiendo que cada palabra puede tener varios significados (polisemia); el significado generalizado detrás de la palabra (con base al sistema de enlaces y generalizaciones) y la relación semántico- sintáctica con otras palabras (las distintas formas de unión con otras palabras).

b) Comprensión de estructuras sintácticas:

Consiste en desambiguar la significación de estructuras que pueden ser polisemánticas, debido a la complejidad que pueden tomar la construcción de oraciones, y superar la impresión inmediata de la oración, entendiendo las relaciones que los componentes tienen entre sí.

c) Comprensión de comunicaciones verbales complejas:

Hace referencia a la unificación semántica del sentido de las oraciones individuales contenidas como un todo y a la comprensión del sentido interno expresado en la comunicación.

En la normalidad, la evidencia neuropsicológica sugiere que la comprensión del lenguaje refleja una coalición de procesamiento de funciones distribuidas en dos sistemas

neurobiológicos distintos. El primero se distribuye bihemisféricamente y se encuentra involucrado en la interpretación lexical, semántica y pragmática de los inputs auditivos, mientras que el segundo se encuentra relacionado con la región fronto-temporal izquierda activado por el cálculo gramatical básico en el dominio de la morfología y la sintaxis de inflexión (Marslen-Wilson and Tyler, 2007).

Ahora bien, ante el daño cerebral resultan defectos específicos del lenguaje tanto en la modalidad expresiva como comprensiva, lo cual se traduce en alteraciones lingüísticas distintas (Galindo, Pelayo, Solovieva y Quintanar, 2014).

De esta manera, una lesión que afecte la capacidad de comprensión del lenguaje tendrá diferentes repercusiones, dependiendo del nivel psicológico afectado por la lesión.

Luria (1980), resume cómo diferentes lesiones cerebrales dan lugar a distintas alteraciones en la comprensión:

- Lesión en zonas secundarias de la corteza temporal izquierda: dan lugar a una alteración de la audición fonémica, los pacientes dejan de reconocer las palabras individuales, pero siguen captando la melodía, la entonación y el contenido emocional.
- Lesión de regiones parietales inferiores y parietooccipitales: producen una incapacidad de convertir las informaciones llegadas en esquemas simultáneos (espaciales o quasi-espaciales) y se dificulta la combinación de elementos gramaticales en un sistema único
- Lesión de zonas mediales de la región temporal izquierda: dan lugar a inestabilidad de los engramas por factores de interferencia;

- Lesión en la corteza prefrontal: genera incapacidad de comprender el sentido interno, los motivos de la comunicación e imposibilidad de inhibir asociaciones secundarias

Por lo tanto, al estudiar las alteraciones del lenguaje es importante considerar la localización de la lesión, no para determinar una función, sino para comprender cómo es que se puede afectar el funcionamiento de un sistema funcional complejo y el nivel del lenguaje afectado.

2.3 Metodología

Actualmente, el estudio de caso, desde el punto de vista de diferentes investigadores, ha comenzado a ser considerado como el procedimiento empírico más importante para hacer inferencias del funcionamiento cognoscitivo, ya que cada caso se verá afectado de forma diferente debido a las condiciones específicas del paciente y a la severidad de la enfermedad, pues no existe garantía de que dos diferentes lesiones en el mismo sistema funcional cerebral, conlleven exactamente al mismo patrón de síntomas (Shallice, 1988). En ese sentido, el estudio de caso es una aportación importante para la evaluación neuropsicológica y para el diseño de programas de rehabilitación, ya que estos proveen conocimientos que se centran en el contexto en que se desarrolla la investigación, proporcionando aprendizajes que permiten explicar las bases de problemáticas individuales, aportando conocimientos específicos a las diferentes áreas de la salud (Flyberg, 2004).

Aunado a esto, uno de los principales métodos para analizar la relación neuropsicológica y fisiológica, es la electroencefalografía, esta se define como el registro gráfico de la actividad eléctrica cerebral, este registro se obtiene mediante la colocación de electrodos en el cuerpo cabelludo. Imprimiendo el movimiento de las ondas cerebrales en un monitor o aparato computarizado (Martínez y Trout, 2006).

La actividad eléctrica, generada por el cerebro en condiciones normales, varía dependiendo de diversos factores internos (edad, sexo, vigilia-sueño, estado psicoafectivo, factores metabólicos) y externos (ambientales, toma de fármacos, procedimientos de activación como hiperventilación o estimulación luminosa), que actúan sobre una determinada base genética (Martínez, 2008).

Las ondas en el electroencefalograma (EEG) se clasifican de acuerdo a su Frecuencia, esta se refiere al número de veces que una onda se repite en un segundo, por lo tanto se divide en cuatro bandas: Delta, Theta, Alfa y Beta. Por otro lado, se evalúa la Amplitud de la onda, esta es determinada por la comparación de la distancia entre la línea base y el pico de la onda expresada en mV. De igual forma debe evaluarse la Morfología, la cual se expresa en forma de onda aguda, punta, complejos punta-onda lenta y/o onda aguda-lenta (Martínez y Trout, 2006).

El registro de EEG mide la suma de los potenciales post-sinápticos de las células piramidales en el córtex cerebral. Estas señales se amplifican para evitar las atenuaciones y el ruido presentes entre las neuronas y los electrodos receptores. Se distinguen 5 ritmos principales agrupados por frecuencia (Sanei y Chambers, 2007):

- Ritmo Delta: se encuentra entre 0.5 y 4 Hz. Pueden observarse en los niños o en adultos en estado de sueño profundo. Pueden confundirse fácilmente con artefactos producidos por músculos cercanos a la superficie de la piel.

- Ritmo Theta: se encuentra entre los 4 y 7.5 Hz. El ritmo teta juega un papel importante durante la infancia, mientras que en el adulto sin patología se consideran anormales y son causadas por alguna patología.
- Ritmo Alpha: se encuentra entre los 8 y 13 Hz. Aparece en los adultos en los lóbulos cerebrales posteriores cuando cierran los ojos y desaparece al abrirlos. Sin embargo es el ritmo más prominente al hablar de actividad cerebral. El ritmo Alpha indica un estado de relajación sin ninguna atención o concentración.
- Ritmo Beta: se encuentra entre los 14 y 26 Hz. Es el ritmo de vigilia habitual del cerebro asociado con el pensamiento activo, la atención activa, el enfoque en el mundo exterior o la resolución de problemas concretos, y se encuentra en adultos normales.
- Ritmo gamma: Son frecuencias superiores a los 30 Hz hasta los 45 Hz. Su ocurrencia es rara y en ocasiones su detección confirma ciertas enfermedades cerebrales. Las regiones con frecuencias altas durante EEG se localizan en el área fronto-central.

Actualmente existen novedosos estudios que se apoyan en los registros electrofisiológicos para estudiar la dinámica del lenguaje en la normalidad. Por ejemplo, un estudio realizado en el 2013 demostró que la activación en el giro fronto-parietal izquierdo se asocia fuertemente con el procesamiento para la comprensión de oraciones (Okada y Cols, 2013). Es por eso que se ha empleado la técnica de EEG para obtener información que permita entender qué pasa a nivel electrofisiológico con el lenguaje en pacientes con daño cerebral. Es de esperarse que ante un daño cerebral la actividad cortical se desorganice (Luria, 1974) y dicha desorganización se refleje en la actividad tanto del lenguaje como intelectual del individuo.

Un estudio realizado en el 2016 reveló que en los pacientes con afasia de broca se alteran dos tipos distintos de memoria de trabajo; que las redes funcionales de theta y gamma reflejan el procesamiento ejecutivo y fonológico, y que existe una completa desintegración de la red fronto-centroparietal de gamma en estos pacientes (Rutar, y Cols. 2016). Otros estudios reflejan un patrón distinto de desorganización de la actividad cortical, por ejemplo, en un estudio se encontró una gran activación de beta en sectores izquierdos, en comparación con sectores derechos en sujetos normales y al compararlos con pacientes con afasia el patrón se invirtió, además, los pacientes mostraron una actividad beta reducida con respecto a los sujetos control en este estudio (Spironelli, Manfredi y Angrilli, 2013).

De igual forma se han realizado otro tipos de estudios para evaluar la conectividad funcional a través de señales de EEG como lo hicieron González y Gónzales (2015) que utilizaron medidas de Interdependencia lineal obtenida a partir de la magnitud al cuadrado de la coherencia que representa una medida (entre 0-1) de la correlación lineal, tanto en amplitud y fase, entre dos señales a una frecuencia dada y medidas de Interdependencia no lineal la cual es una medida de la interdependencia no lineal entre dos señales, procedente de la teoría de los sistemas dinámicos no lineales, sin embargo este estudio se utilizó para conocer marcadores biológicos en el envejecimiento, sin embargo, puede tomarse la base para valorarlo ante lesiones del lenguaje.

3. Desarrollo de investigación

3.1 Tipo y diseño de investigación

Se realizó un estudio experimental, descriptivo, comparativo y transversal.

3.2 Población

La población se reclutó mediante muestreo por conveniencia, se seleccionaron 4 pacientes con daño cerebral por consecuencia de un evento cerebrovascular y 3 sujetos sanos sin antecedentes de enfermedades neurológicas, ambos grupos con un rango de edad entre los 40 y 65 años.

Los criterios de inclusión, exclusión y eliminación se describen a continuación:

Pacientes con EVC

| Criterios de inclusión | Criterios de exclusión | Criterios de eliminación |
|---|--|---------------------------|
| Firmar la carta de consentimiento informado | Contar con algún tipo de rehabilitación neuropsicológica | No concluir la evaluación |
| Tener una escolaridad mínima de secundaria | Presentar antecedentes de padecimientos psiquiátricos | |
| Presentar un EVC no mayor a 6 meses | Rechazar la participación en el protocolo | |

Sujetos sanos

| Criterios de inclusión | Criterios de exclusión | Criterios de eliminación |
|---|--|---------------------------|
| Firmar la carta de consentimiento informado | Presentar antecedentes de padecimientos neurológicos | No concluir la evaluación |

| | | |
|--|---|--|
| Tener una escolaridad mínima de secundaria | Presentar antecedentes de padecimientos psiquiátricos | |
| | Rechazar la participación en el protocolo | |

3.3 Descripción de los participantes

| Código | Edad | Sexo | Escolaridad | Tipo de lesión | Lateralidad |
|-------------------|-------------|-------------|--------------------|---|--------------------|
| Paciente A | 47 años | Hombre | Secundaria | EVC - hemorrágico intraparenquimatoso derecho a nivel de la capsula interna | Diestro |
| Paciente H | 63 años | Hombre | Secundaria | EVC – isquémico izquierdo en regiones posteriores | Diestro |
| Paciente J | 63 años | Hombre | Licenciatura | EVC- isquémico izquierdo en regiones posteriores | Diestro |
| Paciente M | 44 años | Mujer | Preparatoria | EVC- isquémico izquierdo en regiones posteriores | Diestra |

Tabla 1. Descripción de los pacientes

| Código | Diagnóstico neuropsicológico |
|-------------------|---|
| Paciente A | Déficit funcional del mecanismo de regulación y control de la actividad. De igual forma, se observó un funcionamiento no óptimo en el mecanismo de activación inespecífica. |
| Paciente H | Déficit funcional del mecanismo psicofisiológico de retención audio-verbal. |
| Paciente J | Déficit funcional del factor de análisis y síntesis espaciales simultaneas en su componente analítico. |
| Paciente M | Leve alteración funcional en el mecanismo de regulación y control de la actividad, |

Tabla 2. Diagnóstico neuropsicológico de cada paciente

| Código | Edad | Sexo | Escolaridad | Lateralidad |
|-----------------|-------------|-------------|--------------------|--------------------|
| Sujeto M | 42 años | Hombre | Secundaria | Zurdo |
| Sujeto P | 49 años | Hombre | Licenciatura | Diestro |
| Sujeto S | 50 años | Mujer | Preparatoria | Diestra |

Tabla 3. Descripción de los sujetos control

3.4 Instrumentos

- EEG con 19 derivaciones cerebrales.

- Paradigma experimental de oraciones con elementos comparativos, temporales y espaciales. Basado en la Evaluación Clínico-Neuropsicológica de la Afasia Puebla-Sevilla (Quintanar, Solovieva, León-Carrión, 2011).

3.5 Diseño experimental

A todos los sujetos se les explicó en qué consiste el registro, se proporcionó una carta de consentimiento informado. Durante todo el proceso se siguieron los principios de la declaración de Helsinki establecida por la Asociación Médica Mundial (2013).

El procedimiento se llevó a cabo en dos etapas:

- Etapa 1. Se realizó un pilotaje del paradigma experimental en 15 sujetos sanos que contaban con los criterios de inclusión, exclusión y eliminación previamente mencionados. La finalidad de esta etapa fue identificar que las oraciones eran pertinentes, así como analizar el tiempo de respuesta de los pacientes, la producción de respuestas correctas e incorrectas y el esfuerzo que pueda demandar la retención en la información de cada oración (ya que la finalidad de este paradigma no es evaluar el proceso de memoria).
- Etapa 2. Una vez que se realizaron los ajustes pertinentes en el paradigma experimental se pasó a la selección de la muestra con las características previamente mencionadas. Se aplicó un paradigma experimental el cual incluyó 45 estímulos (distribuidos en 15 oraciones con elementos comparativos, 15 oraciones con elementos temporales y 15 oraciones con elementos espaciales), este consistió en que el sujeto escuchaba una oración e inmediatamente después se le presentaba en la pantalla de una computadora tres imágenes (correspondiente, cercana y lejana), además de un cuadro en blanco. El sujeto realizaba un escaneo visual para identificar

la imagen que correspondiera a la oración que escuchaba. Al finalizar el experimento se realizaba un registro de un minuto en reposo con ojos cerrados y posteriormente un minuto en reposo con ojos abiertos.



Ilustración 1. Diseño del paradigma experimental

3.6 Registro de EEG

Durante la sesión experimental, el sujeto se sentó en un cuarto cerrado con luz atenuada. Se le solicitó resolver el paradigma establecido, mediante una interfaz de computadora. Se realizó el registro electroencefalográfico en vigilia con el equipo NicVue System (Nicolet Biomedical Inc), con un montaje de 19 derivaciones cerebrales (paso de banda DC-100 Hz, con frecuencia de muestreo de 250 Hz). Los electrodos fueron colocados según el sistema internacional 10-20 (Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fz, Cz, Pz, Oz) referenciados a los lóbulos de la orejas (A1 y A2) con la tierra común en FzA.

Las condiciones experimentales fueron:

- Reposo antes de iniciar el paradigma experimental (5 minutos de grabación).
- Registro con ojos cerrados antes de presentar cada estímulo (7 segundos de grabación).
- Registro con ojos cerrados durante la presentación de cada estímulo auditivo (4 segundos de grabación).
- Registro con ojos cerrados durante el procesamiento de comprensión de cada oración (tiempo indefinido dependiente de la capacidad de procesamiento de cada sujeto).
- Registro con ojos abiertos durante el escaneo visual para la selección de la imagen correcta.
- Evocación oral de la respuesta por parte del sujeto.

La consigna que se le dio a los sujetos experimentales fue la siguiente:

“Permanecerá Usted con los ojos cerrados mientras escucha una oración, antes de abrir los ojos quiero que Usted esté completamente seguro de haberla comprendido para poder seleccionar la respuesta correcta. Cuando Usted este seguro de tener la respuesta quiero que abra sus ojos y sin moverse, quiero que sólo indique la imagen correcta (inciso a, b, c o d). Posteriormente le pediré que nuevamente vuelva a cerrar sus ojos”.

3.7 Técnicas para el análisis de los datos

3.7.1 Análisis de resultados

Se realizó la selección de lapsos de registro mediante el toolbox EEGVue2Go by Nicolet Biomedical, Inc. EEG reader versión 3.5. Posteriormente, la señal fue filtrada utilizando el

programa matlab, mathworks versión 2013b. Donde se calculó la densidad de potencia de cada una de las bandas (Delta, Theta, Alpha y Beta), tanto en reposo con ojos cerrados como en el procesamiento de cada tipo de oración de cada participante.

3.7.2 Análisis Estadísticos

Los datos se analizaron en el paquete estadístico IBM SPSS Statistics versión 22. Se implementó la prueba de kolmogorov-smirnov para comprobar la distribución normal de los datos, así como una prueba de Levene para determinar si existe homogeneidad en la varianza, con base en esto se decidió implementar estadística de tipo paramétrica, aplicando una Prueba T, para calcular las diferencias entre el reposo con ojos cerrados y el procesamiento de cada tipo de oración.

4. Resultados

4.1 Resultados conductuales

A continuación se muestran las tablas con las respuestas de cada tipo de oración, así como el tiempo en segundos que les tomó el procesamiento de cada una.

Paciente A

| Respuestas/Tipo de oración | Comparativas | Temporales | Espaciales | Total |
|----------------------------|--------------|------------|------------|-------|
| Correctas | 12 | 14 | 13 | 39 |
| Cercanas | 3 | 1 | 2 | 6 |
| Lejanas | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | |
|---------------------|---------|----------|----------|----------|
| Cuadro blanco | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tiempo de ejecución | 79 Seg. | 118 Seg. | 102 Seg. | 299 Seg. |

Tabla 4. Resultados conductuales paciente A

Paciente H

| Respuestas/Tipo de oración | Comparativas | Temporales | Espaciales | Total |
|----------------------------|--------------|------------|------------|----------|
| Correctas | 11 | 11 | 9 | 31 |
| Cercanas | 4 | 4 | 6 | 14 |
| Lejanas | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cuadro blanco | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tiempo de ejecución | 48 Seg. | 41 Seg. | 54 Seg. | 143 Seg. |

Tabla 5. Resultados conductuales paciente H

Paciente J

| Respuestas/Tipo de oración | Comparativas | Temporales | Espaciales | Total |
|----------------------------|--------------|------------|------------|-------|
| Correctas | 14 | 7 | 11 | 32 |
| Cercanas | 1 | 8 | 4 | 13 |
| Lejanas | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cuadro blanco | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | |
|---------------------|---------|---------|---------|----------|
| Tiempo de ejecución | 84 Seg. | 65 Seg. | 90 Seg. | 239 Seg. |
|---------------------|---------|---------|---------|----------|

Tabla 6. Resultados conductuales paciente J

Paciente M

| Respuestas/Tipo de oración | Comparativas | Temporales | Espaciales | Total |
|----------------------------|--------------|------------|------------|----------|
| Correctas | 12 | 12 | 11 | 35 |
| Cercanas | 3 | 3 | 4 | 10 |
| Lejanas | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cuadro blanco | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tiempo de ejecución | 81 Seg. | 84 Seg. | 90 Seg. | 255 Seg. |

Tabla 7. Resultados conductuales paciente M

Sujeto M

| Respuestas/Tipo de oración | Comparativas | Temporales | Espaciales | Total |
|----------------------------|--------------|------------|------------|----------|
| Correctas | 13 | 9 | 12 | 34 |
| Cercanas | 2 | 6 | 3 | 11 |
| Lejanas | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cuadro blanco | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tiempo de ejecución | 40 Seg. | 39 Seg. | 41 Seg. | 120 Seg. |

Tabla 8. Resultados conductuales sujeto M

Sujeto P

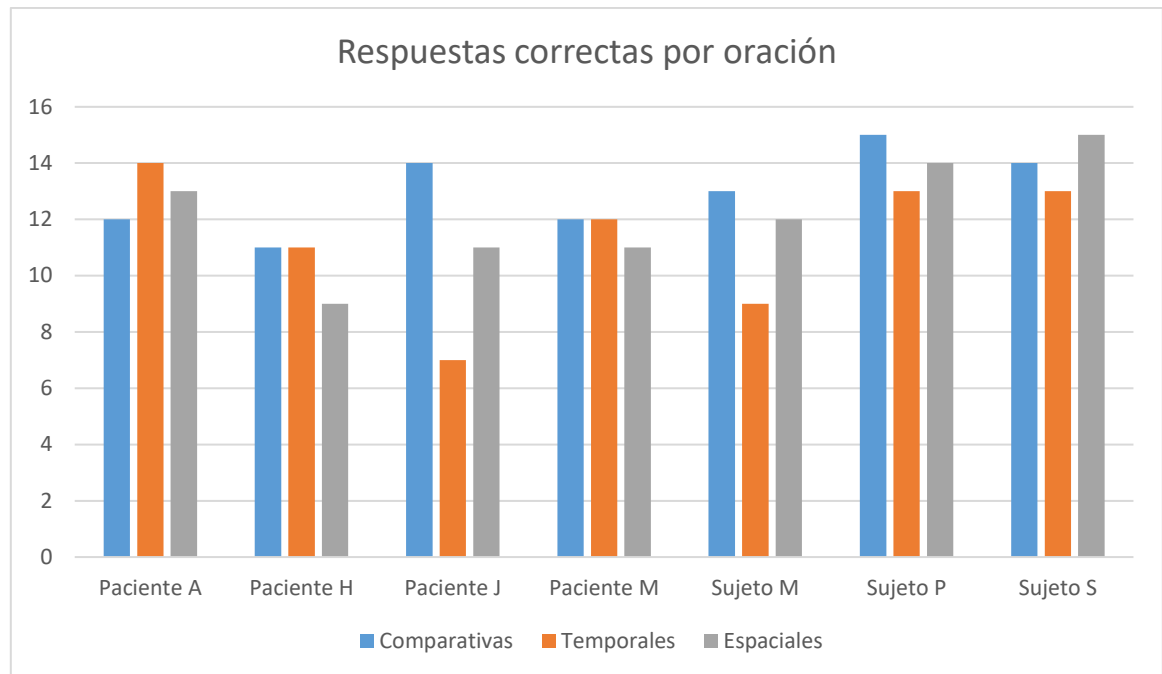
| Respuestas/Tipo de oración | Comparativas | Temporales | Espaciales | Total |
|----------------------------|--------------|------------|------------|----------|
| Correctas | 15 | 13 | 14 | 42 |
| Cercanas | 0 | 2 | 1 | 3 |
| Lejanas | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cuadro blanco | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tiempo de ejecución | 53 Seg. | 49 Seg. | 55 Seg. | 157 Seg. |

Tabla 9. Resultados conductuales paciente P

Sujeto S

| Respuestas/Tipo de oración | Comparativas | Temporales | Espaciales | Total |
|----------------------------|--------------|------------|------------|----------|
| Correctas | 14 | 13 | 15 | 42 |
| Cercanas | 1 | 2 | 0 | 3 |
| Lejanas | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cuadro blanco | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tiempo de ejecución | 44 Seg. | 55 Seg. | 49 Seg. | 148 Seg. |

Tabla 10. Resultados conductuales paciente S



5.

Gráfica 1. Comparación de respuestas correctas por tipo de oración en cada paciente

5.1 Resultado del análisis espectral promediado a través de la densidad de potencia de cada banda del EEG

A continuación se muestran los mapas del análisis de la densidad de potencia, se presentan las bandas: Alpha (esquina superior izquierda), Beta (esquina superior derecha), Delta (esquina inferior izquierda) y Theta (esquina inferior derecha) en cada panel. La escala que se observa a la derecha permite medir la densidad del espectro de potencia de cada banda.

Posteriormente se muestra la comparación a través de la prueba T entre el reposo con ojos cerrados vs el procesamiento de cada uno de los tipos de oraciones, donde el puntaje color azul significa mayor diferencia y la progresión hacia el color rojo significa igualdad.

Paciente A.

Reposo con ojos Cerrados

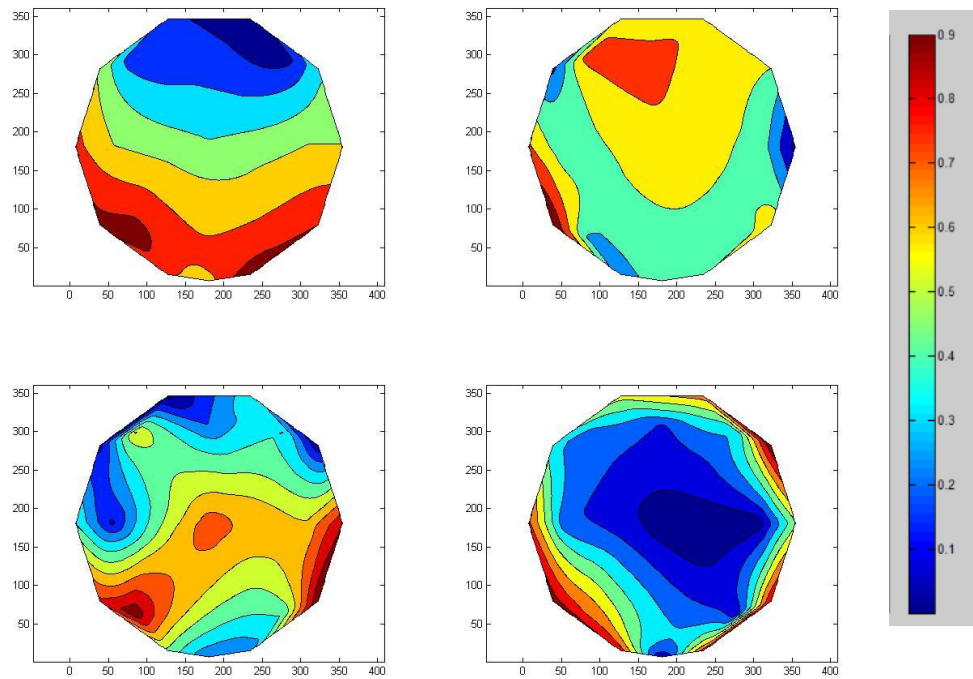


Figura 1. Se observa un aumento de la potencia de la banda Alpha en sectores parietales posteriores y occipitales de ambos hemisferios, de igual forma se puede apreciar un incremento de las bandas Theta y Beta en zonas parietotemporales izquierdas y frontales.

Procesamiento Oraciones Comparativas

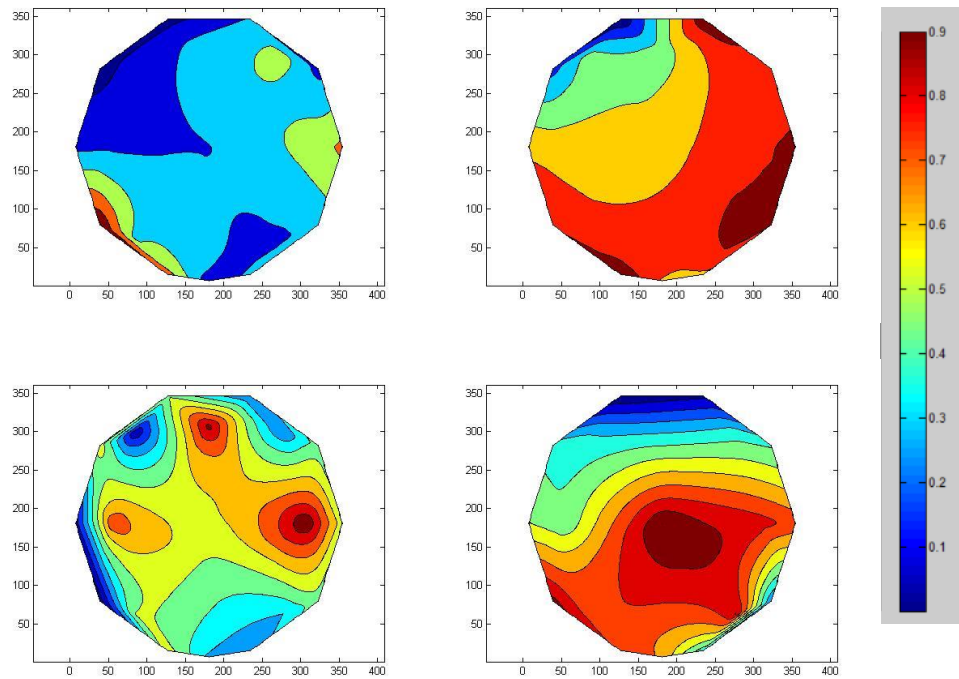


Figura 2. Se aprecia un aumento de la banda Theta en sectores parietales de ambos hemisferios, así como zonas occipitales principalmente de hemisferio izquierdo. De igual forma, se observa un aumento de la banda Beta en zonas tempo-parieto-occipitales izquierdas y un incremento en toda la actividad del hemisferio derecho.

Procesamiento oraciones espaciales

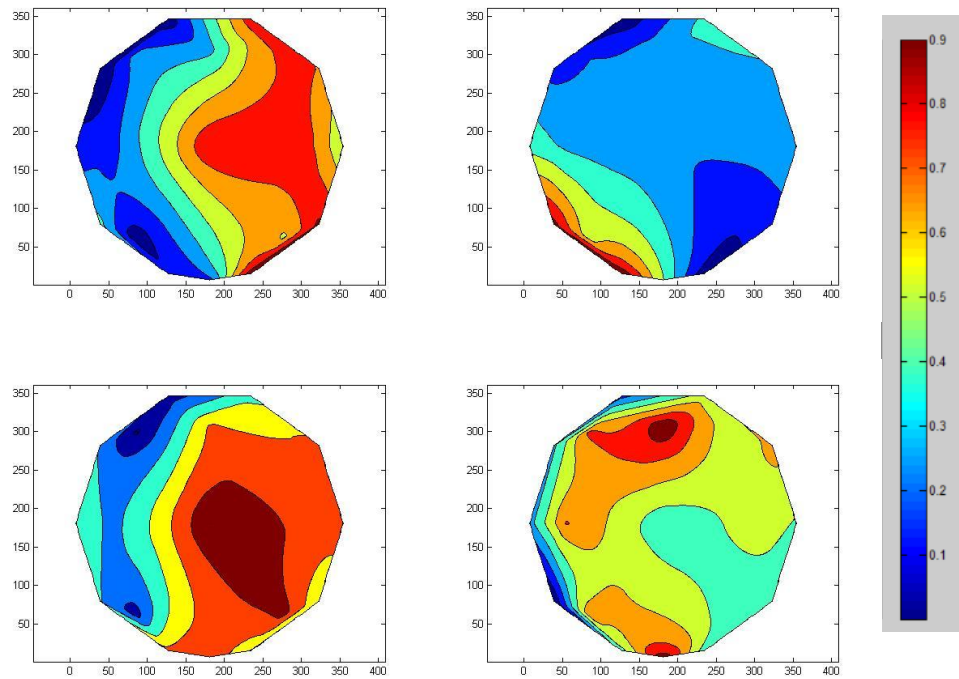


Figura 3. Se presenta un incremento de la banda theta en sectores frontales izquierdos, así como un aumento de la banda Alpha en todo el hemisferio derecho, de igual forma, se puede apreciar incremento de la banda Beta en zonas parietales inferiores y occipitales del hemisferio izquierdo.

Procesamiento oraciones Temporales

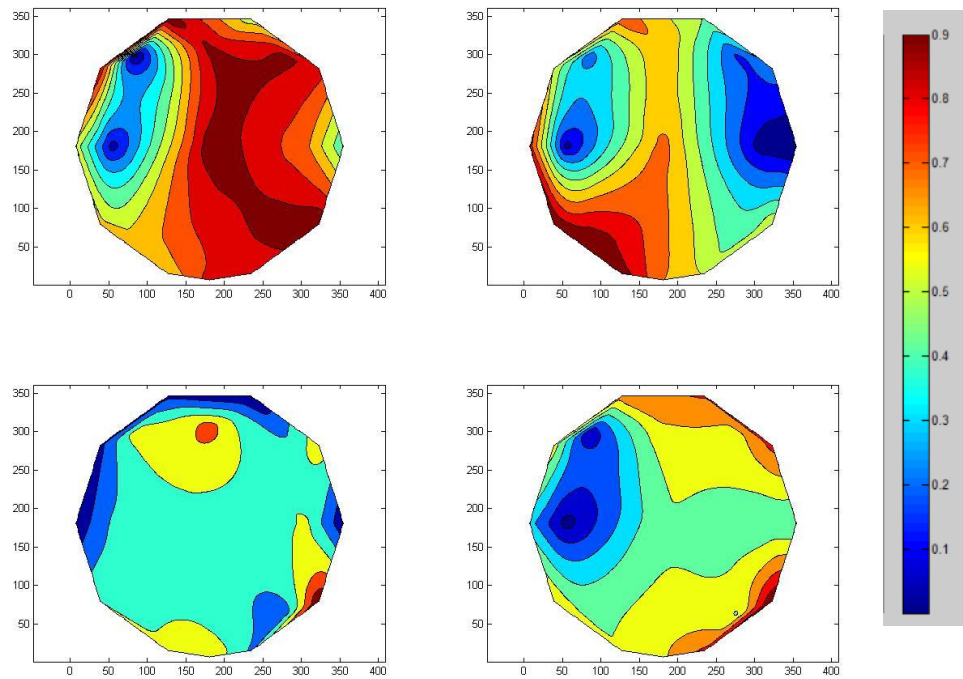


Figura 4. Se observa incremento de la densidad de potencia de la banda Alpha del hemisferio derecho, así como aumento en los sectores temporales, occipitales y parietales inferiores del hemisferio izquierdo de la banda Beta.

Reposo ojos cerrados vs Procesamiento oraciones comparativas

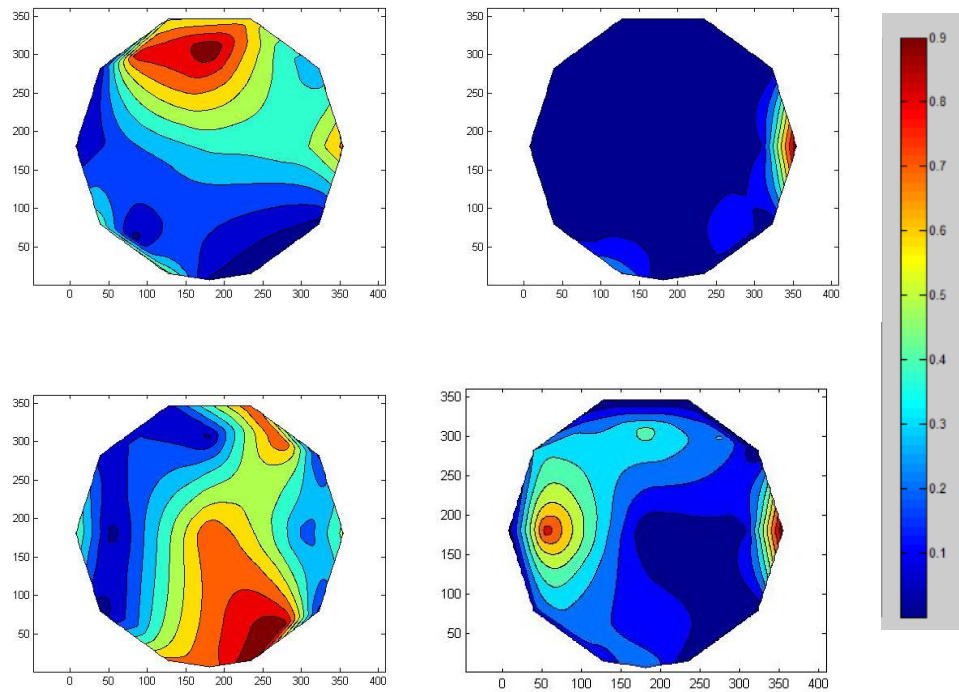


Figura 5. De esa forma se puede observar que hay mayor diferencia de la potencia de la banda Alpha en las zonas cerebrales posteriores y prácticamente la totalidad del mapa en la banda Beta.

Reposo ojos cerrados vs Procesamiento oraciones espaciales

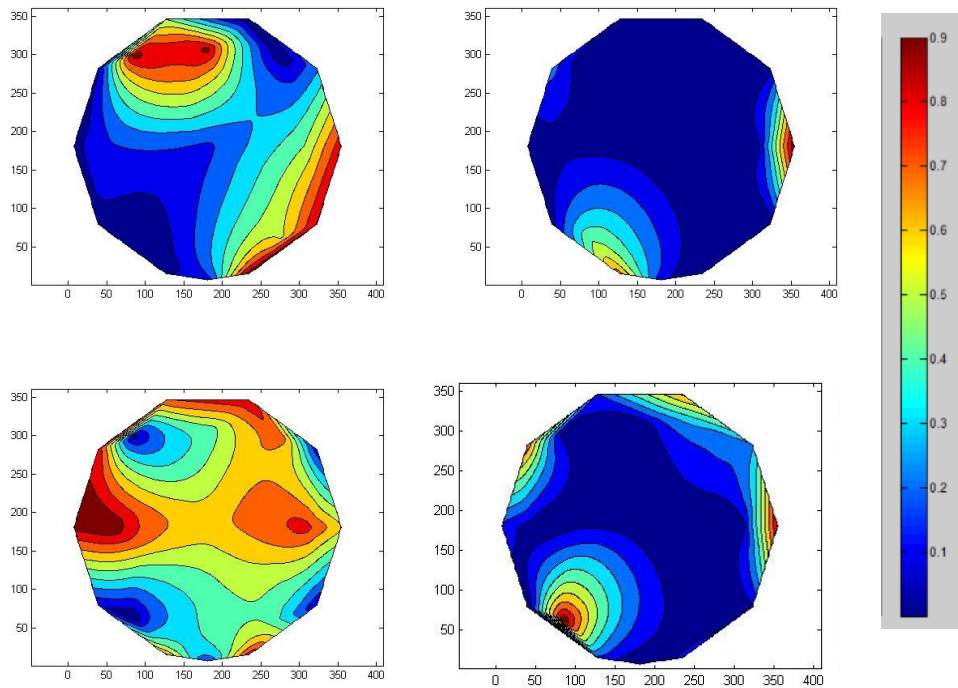
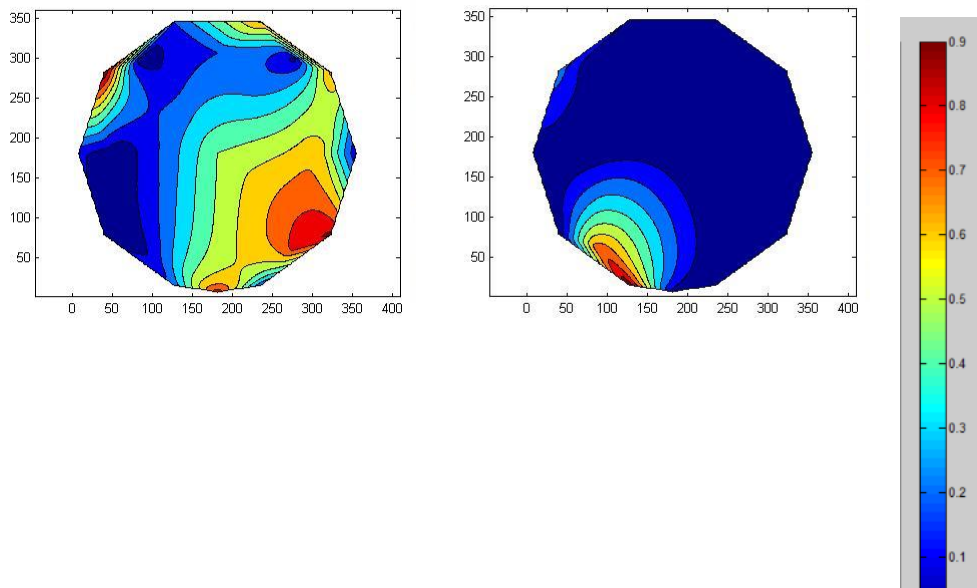


Figura 6. De igual forma se puede observar que hay mayor diferencia de la potencia de la banda Alpha en las zonas cerebrales posteriores izquierdas y prácticamente la totalidad del mapa exceptuando pequeños sectores occipitales izquierdos y temporales derechos en la banda Beta.

Reposo ojos cerrados vs Procesamiento oraciones temporales



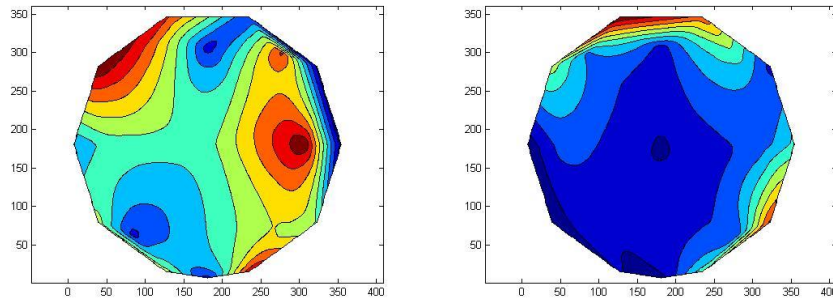


Figura 7. Se observan marcadas diferencias en sectores parieto-temporales izquierdos de la banda Alpha y casi la totalidad del mapa en la banda Beta, exceptuando sectores occipitales izquierdos.

Paciente H

Reposo con ojos cerrados

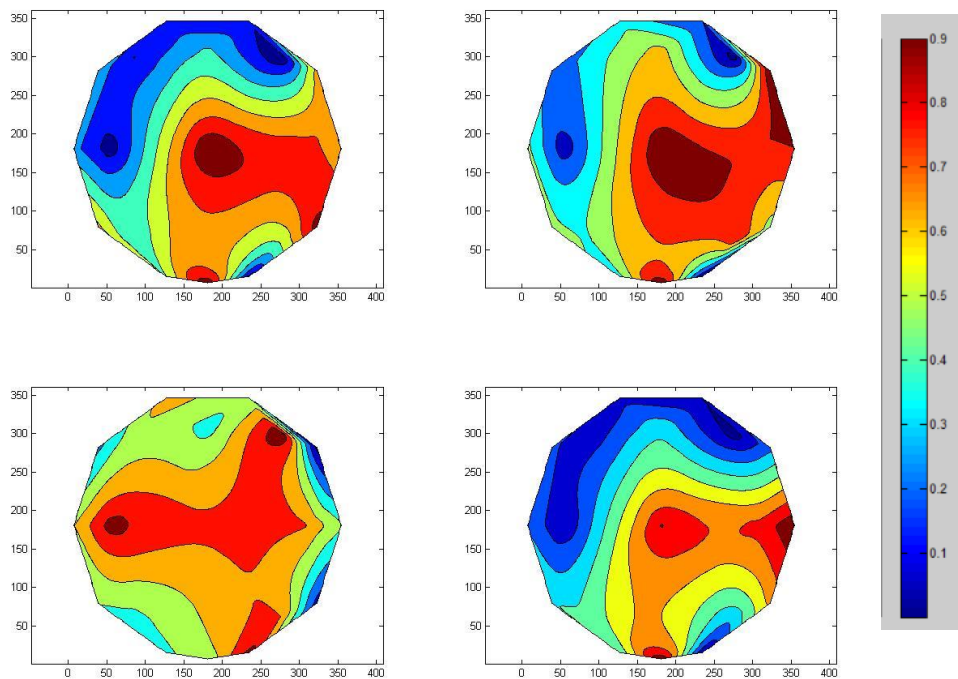


Figura 8. Se aprecia un aumento de la densidad de potencia de la banda theta y Alpha en sectores mediales y temporales derechos. De igual forma, se observa el mismo incremento de potencia en la banda Beta, sin embargo se extiende hasta sectores frontales derechos

Procesamiento oraciones comparativas

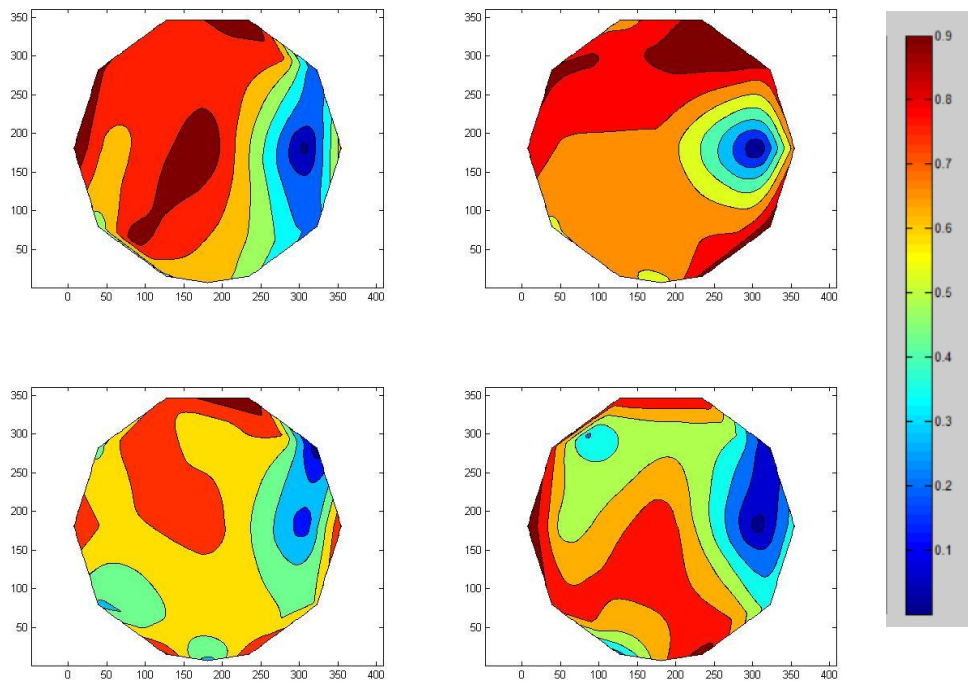


Figura 9. Se observa aumento de la banda Alpha en los sectores fronto-mediales del hemisferio izquierdo, así como incremento en casi toda la banda Beta exceptuando sectores temporales derechos.

Procesamiento oraciones espaciales

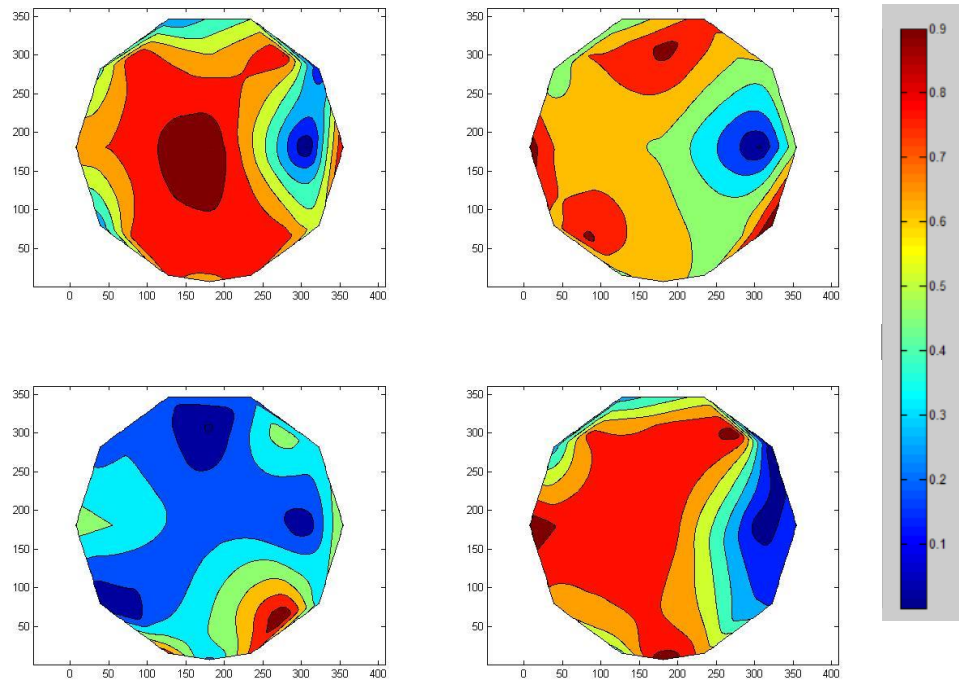


Figura 10. Se observa un incremento de los sectores mediales y casi todo el hemisferio izquierdo de las bandas Theta, Alpha y Beta.

Procesamiento Oraciones Temporales

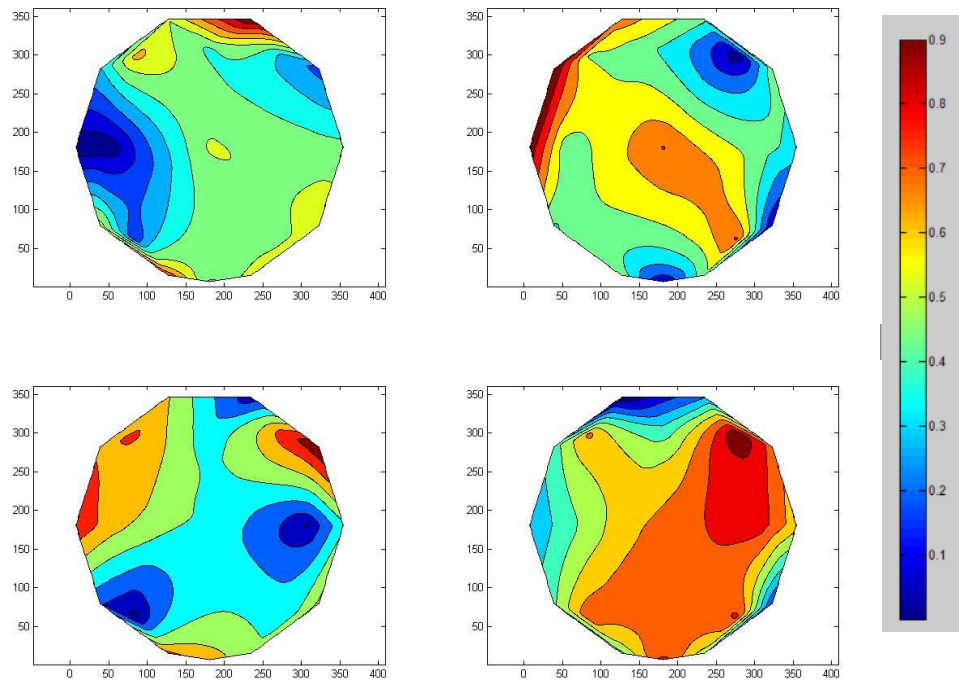


Figura 11. Se aprecia un incremento de los sectores frontales del hemisferio derecho principalmente en la banda Theta y un poco en la banda Alpha. De igual forma hay un incremento de los mismos sectores, bifurcándose hacia zonas temporales en hemisferio izquierdo en la banda Beta.

Reposo ojos cerrados vs Procesamiento oraciones comparativas

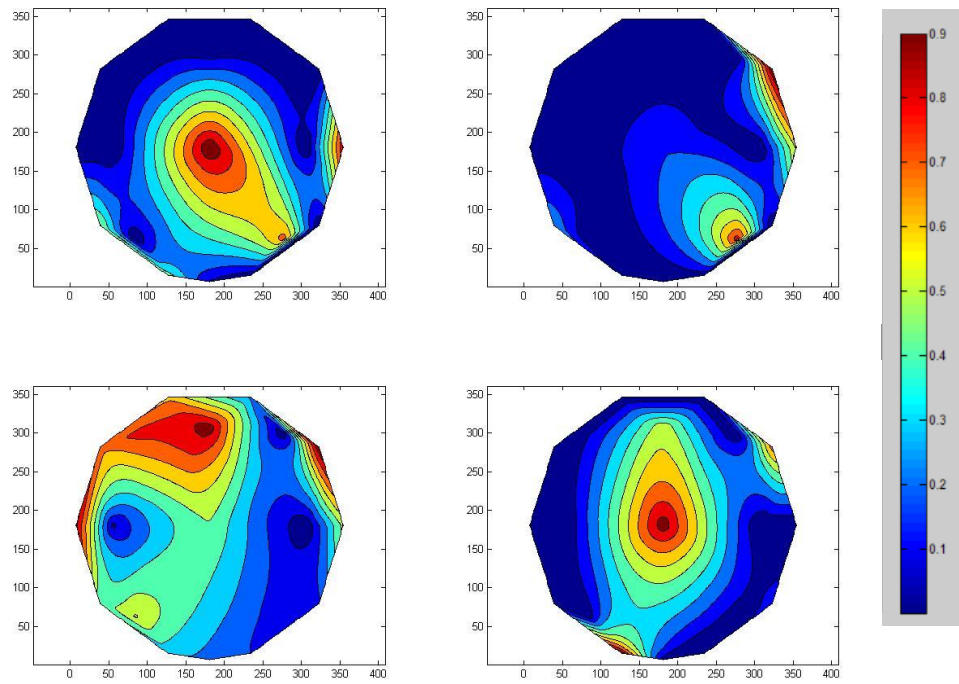


Figura 12. Se puede observar mayor diferencia en sectores frontales y occipitales de la banda Alpha, así como diferencias en el hemisferio izquierdo en la banda Beta.

Reposo ojos cerrados vs Procesamiento oraciones espaciales

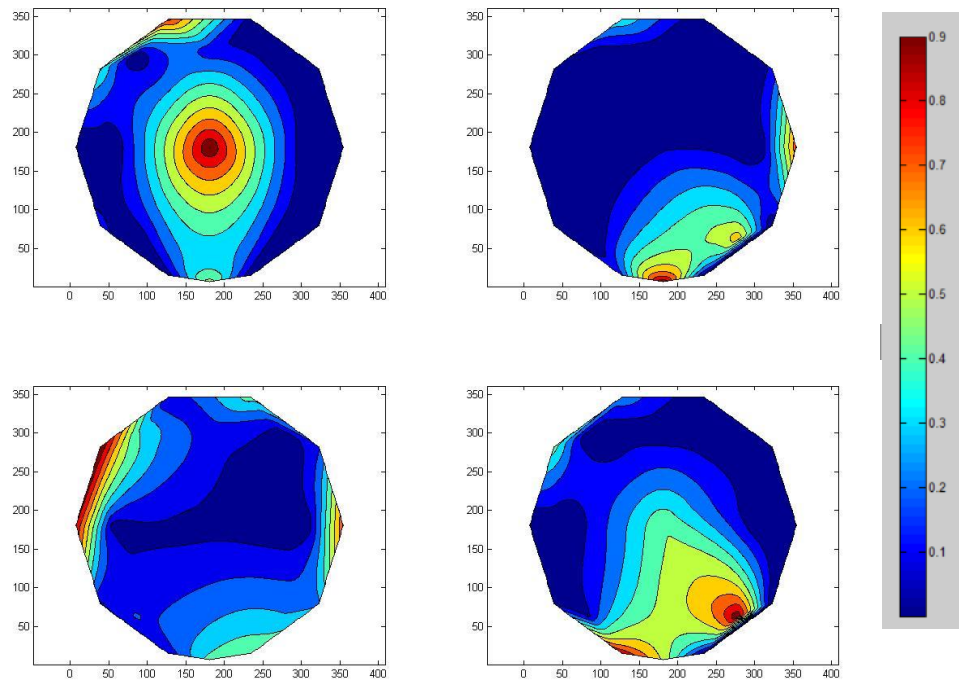


Figura 13. Las mayores diferencias se encontraron en sectores parieto-occipitales del hemisferio izquierdo y en casi todo el hemisferio derecho en la banda Alpha. De igual forma, se observan marcadas diferencias en sectores frontales de ambos hemisferios y en zonas parietales del hemisferio izquierdo en la banda Beta.

Reposo ojos cerrados vs Procesamiento oraciones temporales

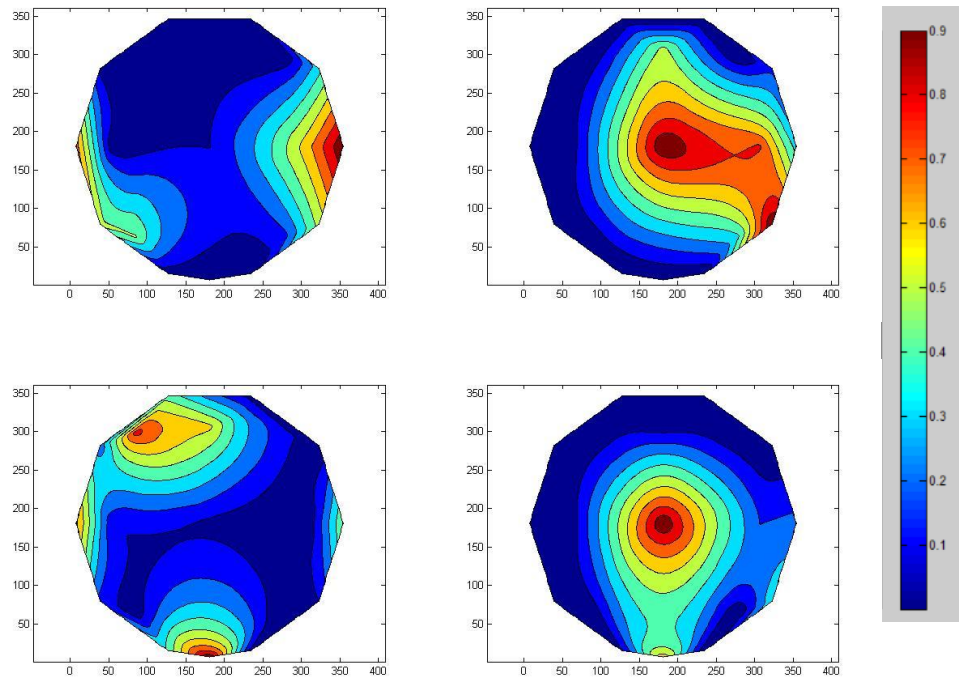


Figura 14. Las diferencias se encontraron en sectores mediales, así como en zonas frontales y occipitales de la banda Alpha, de igual forma, hubo diferencias en el hemisferio izquierdo de la banda Beta

Paciente J

Reposo con ojos cerrados

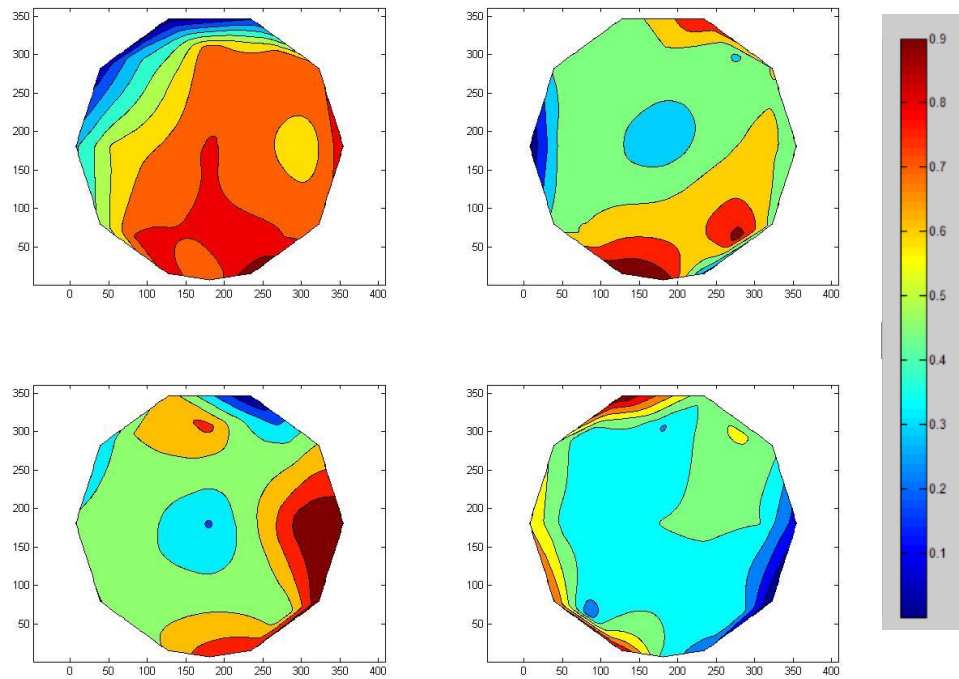


Figura 15. Se observa amplio incremento de la banda Alpha, principalmente en sectores medios y en el hemisferio derecho, de igual forma se aprecia incremento de sectores occipitales izquierdos y frontales derechos en la banda Beta.

Procesamiento oraciones comparativas

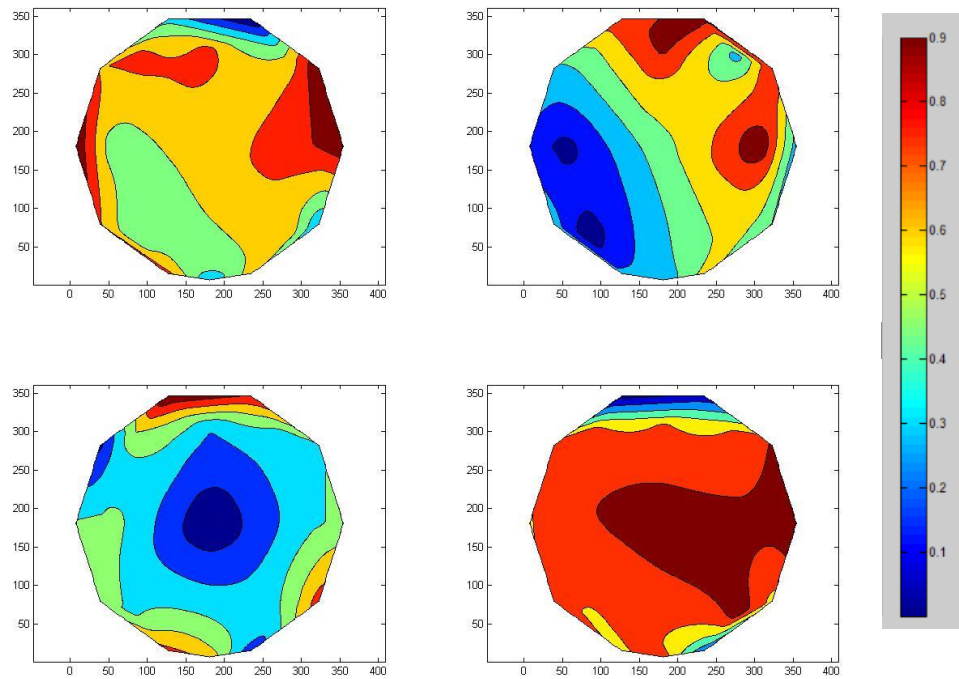


Figura 16. Se observa gran actividad de la banda Theta, así como activación de sectores temporales y frontales en ambos hemisferios en la banda Alpha, en cuanto a la banda Beta, se aprecia incremento en sectores frontales derechos.

Procesamiento oraciones espaciales

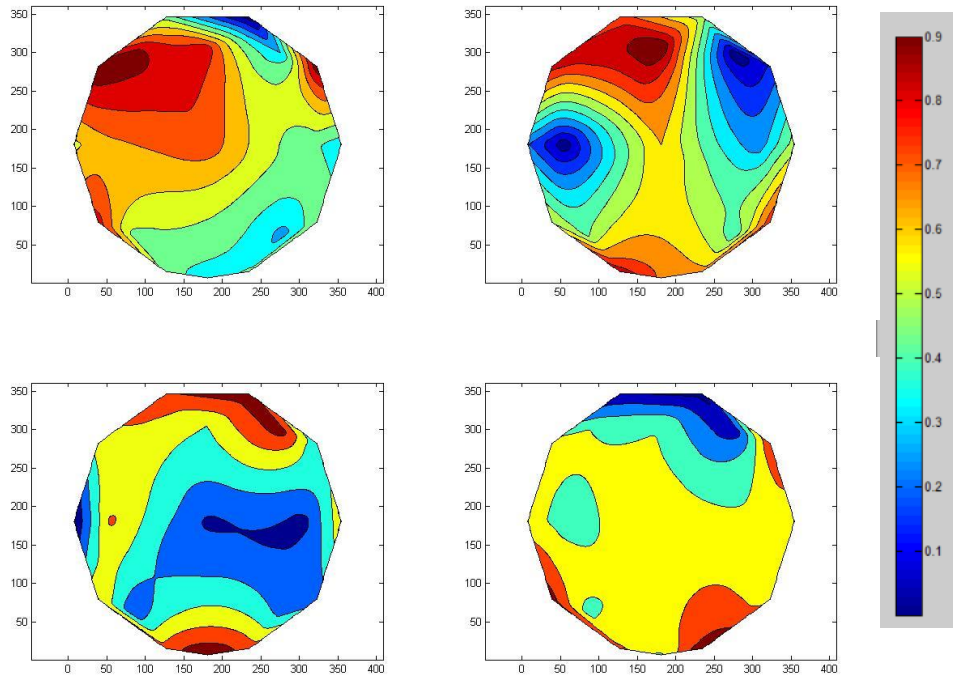
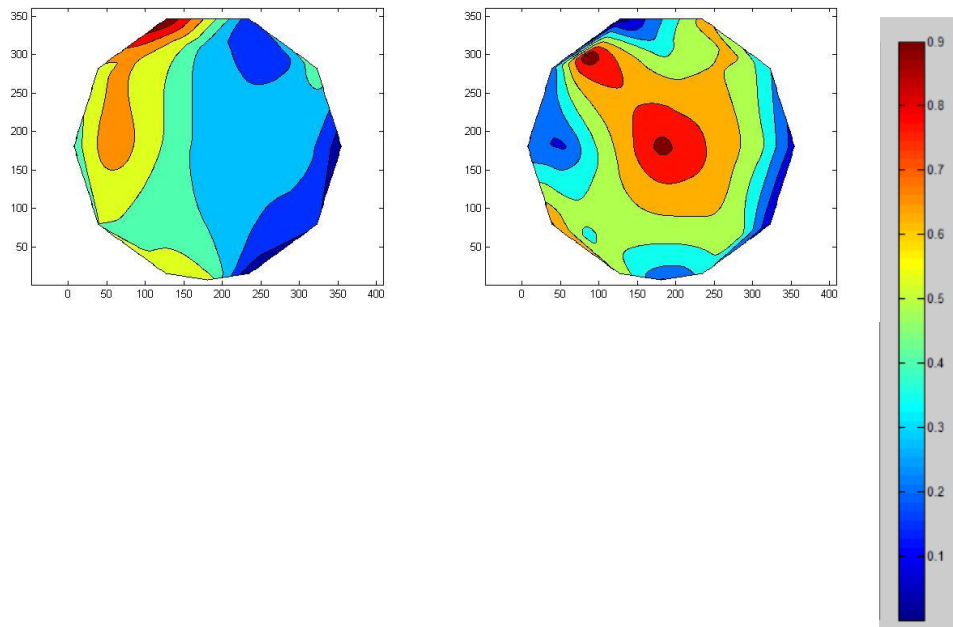


Figura 17. Se observa incremento en sectores frontales izquierdos de la banda Alpha, así como alta actividad en sectores frontales y occipitales izquierdos en la banda Beta.

Procesamiento oraciones temporales



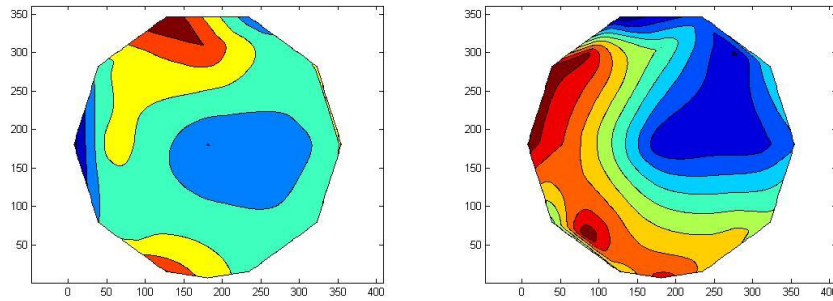


Figura 18. Se observa activación de la banda Theta en el hemisferio izquierdo, así como activación de la banda Beta en sectores medios.

Reposo ojos cerrados vs Procesamiento oraciones comparativas

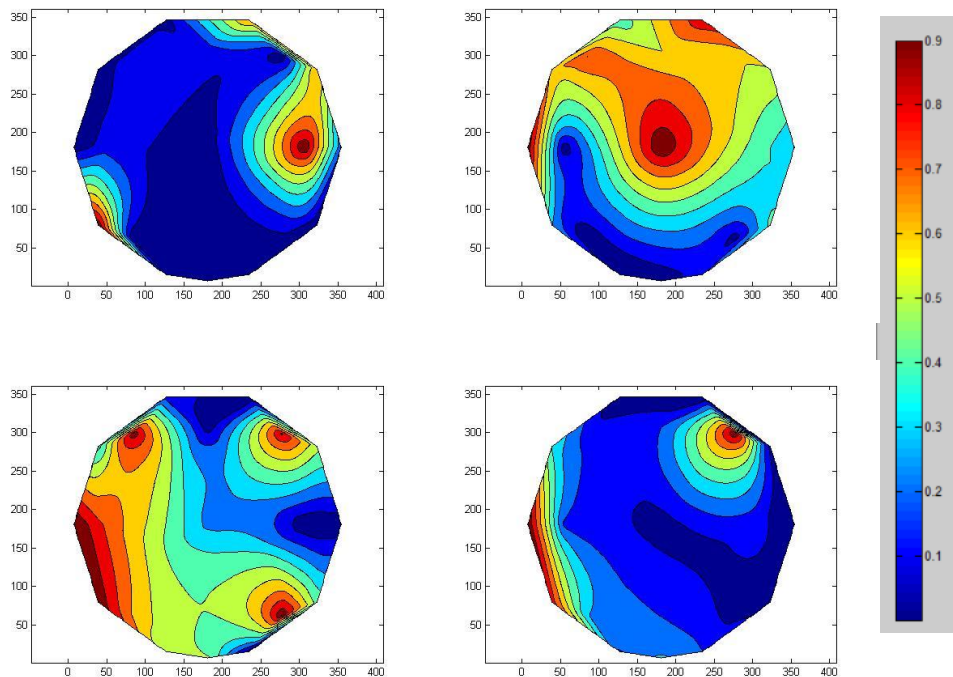


Figura 19. Las mayores diferencias se encuentran en casi todo el mapa en la banda Alpha, excepto en zonas frontales derechas. En cuanto a la banda Beta se observan diferencias

marcadas en los sectores occipitales de ambos hemisferios y parietales del hemisferio izquierdo.

Reposo ojos cerrados vs Procesamiento oraciones espaciales

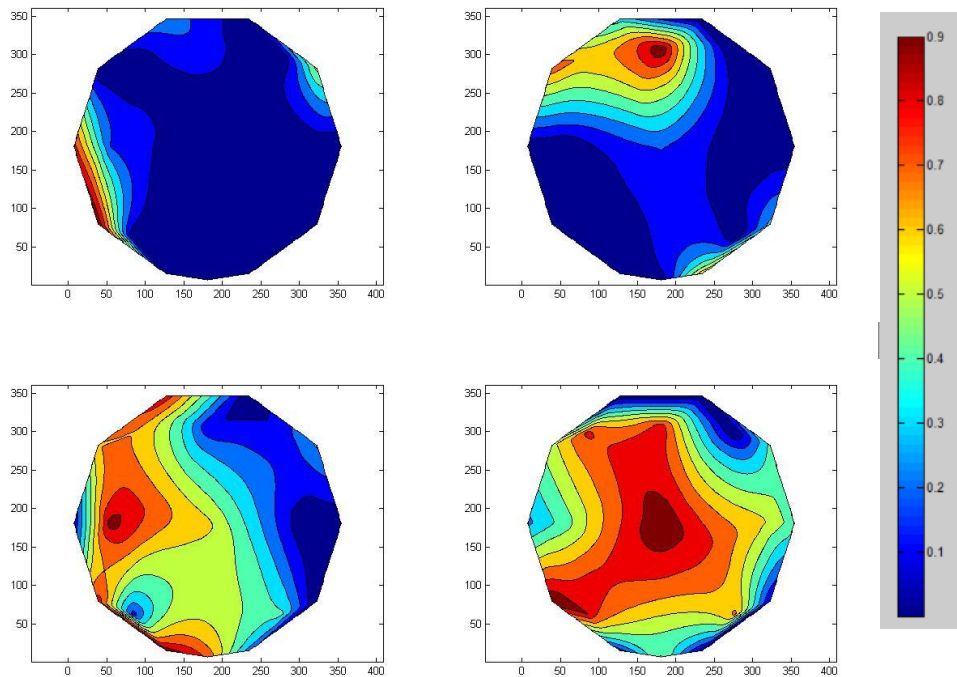


Figura 20. Se observan marcadas diferencias en casi todo el mapa correspondiente a la banda Alpha, exceptuando zonas temporales izquierdas, de igual forma, se evidencia una marcada diferencia en casi todo el mapa de la banda Beta, exceptuando zonas frontales medias e izquierdas.

Reposo ojos cerrados vs Procesamiento de oraciones temporales

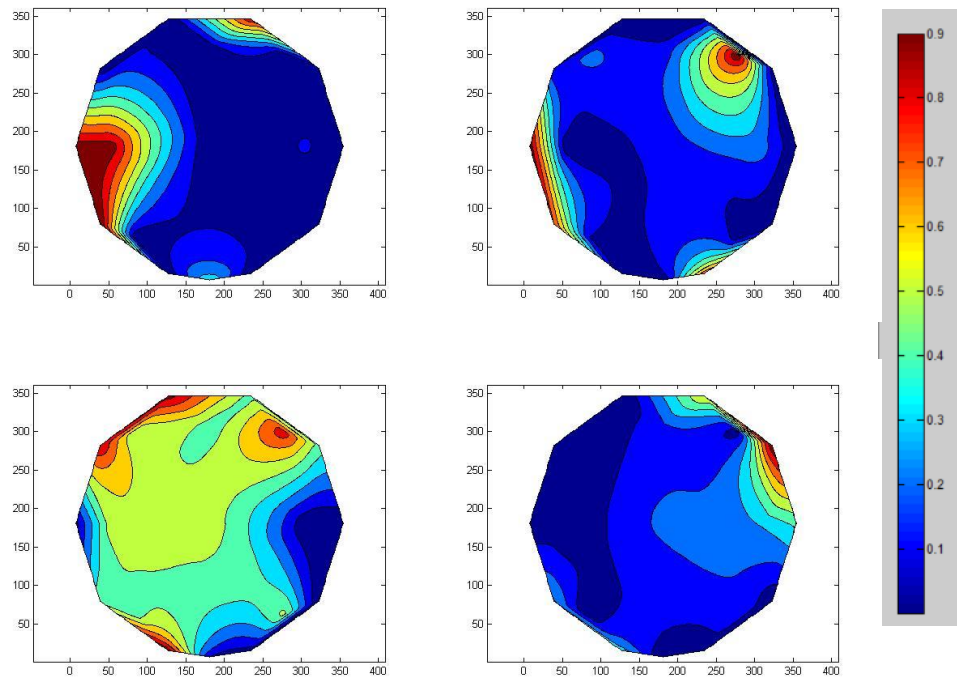


Figura 21. Las diferencias se observan principalmente en el hemisferio derecho de la banda alpha y en zonas mediales del mapa, junto con sectores de hemisferios izquierdo, exceptuando pequeñas regiones temporales en la banda Beta.

Paciente M

Reposo ojos cerrados

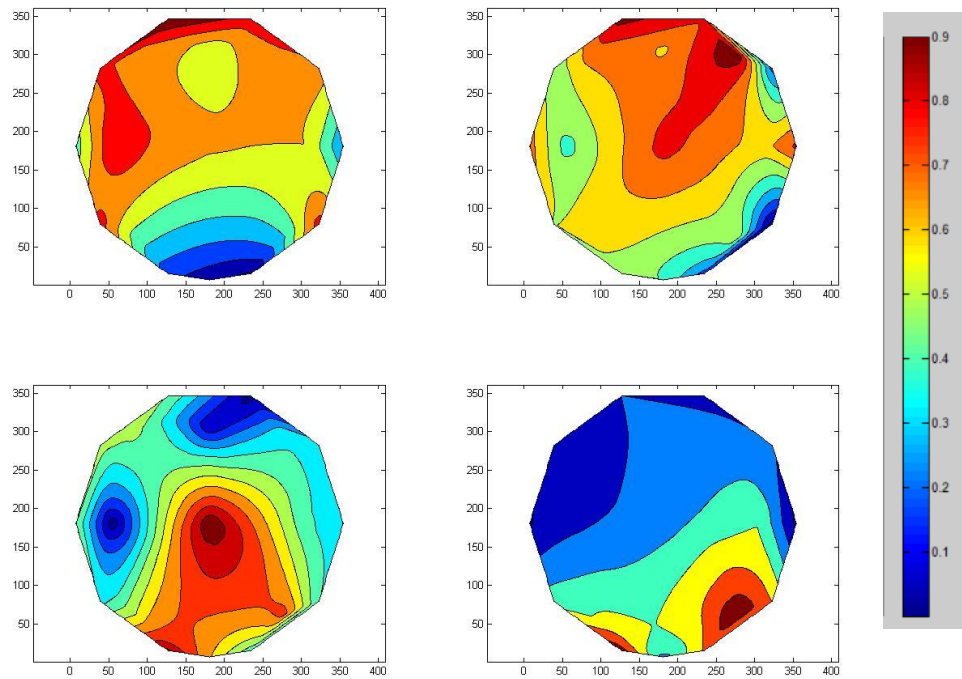


Figura 22. Se observa incremento en la densidad de potencia de la banda Alpha en sectores frontales de ambos hemisferios y parietales izquierdos, así como incremento en sectores frontales, principalmente derechos, en la banda Beta.

Procesamiento oraciones comparativas

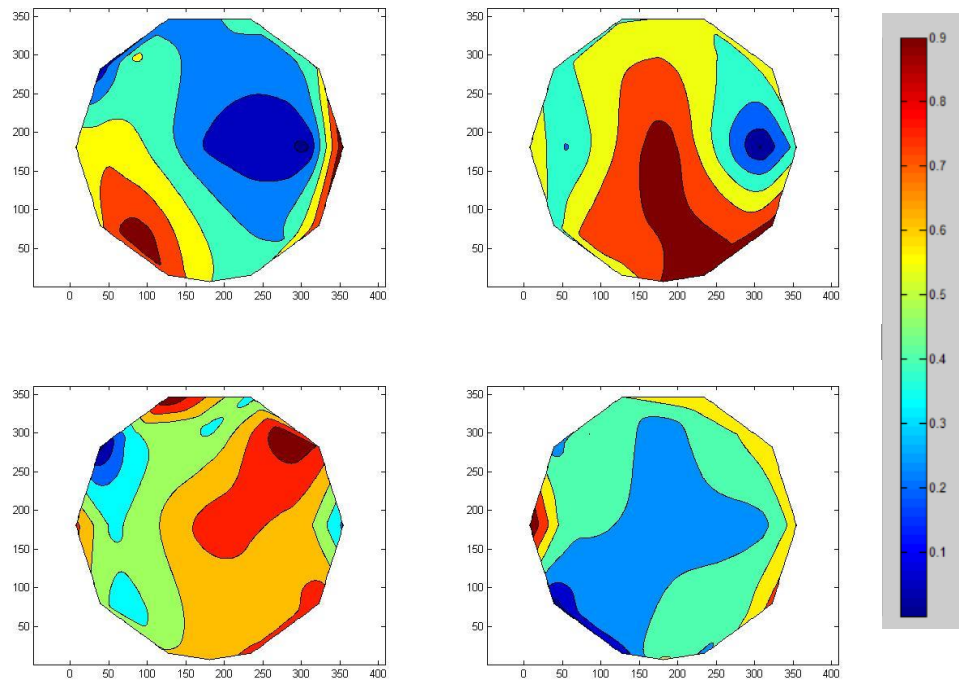


Figura 23. La mayor activación se observa en sectores occipitales izquierdos de la banda Alpha, en cuanto a la banda Beta, se observa incremento en sectores occipitales y sectores medios del mapa.

Procesamiento oraciones espaciales

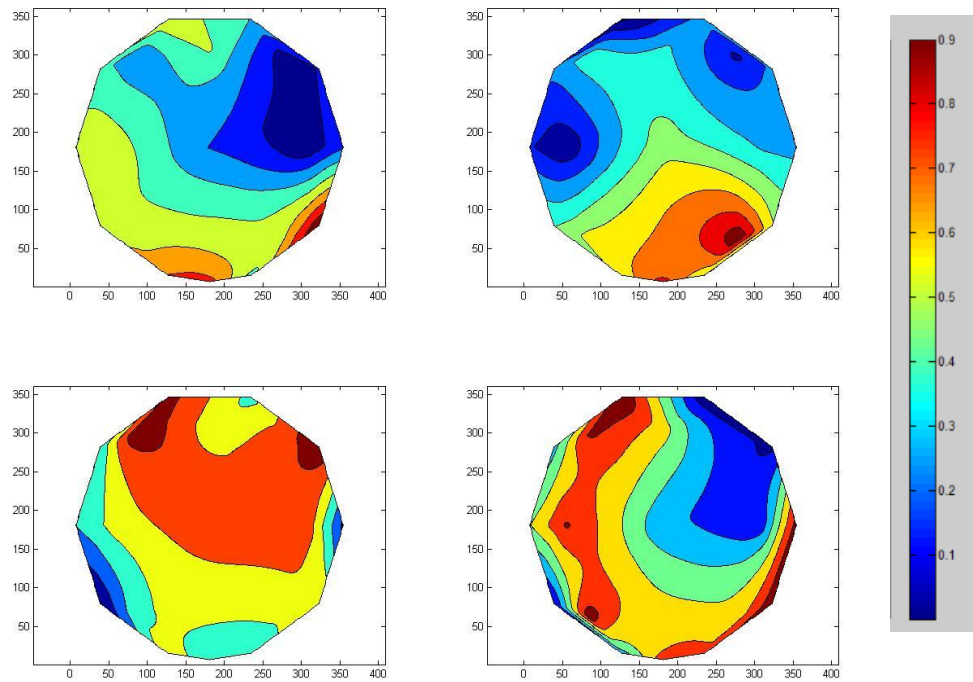


Figura 24. La principal activación se observa en la banda Beta en sectores occipitales derechos. Cabe resaltar que puede apreciarse un poco de activación de los mismos sectores en la banda Alpha.

Procesamiento oraciones temporales

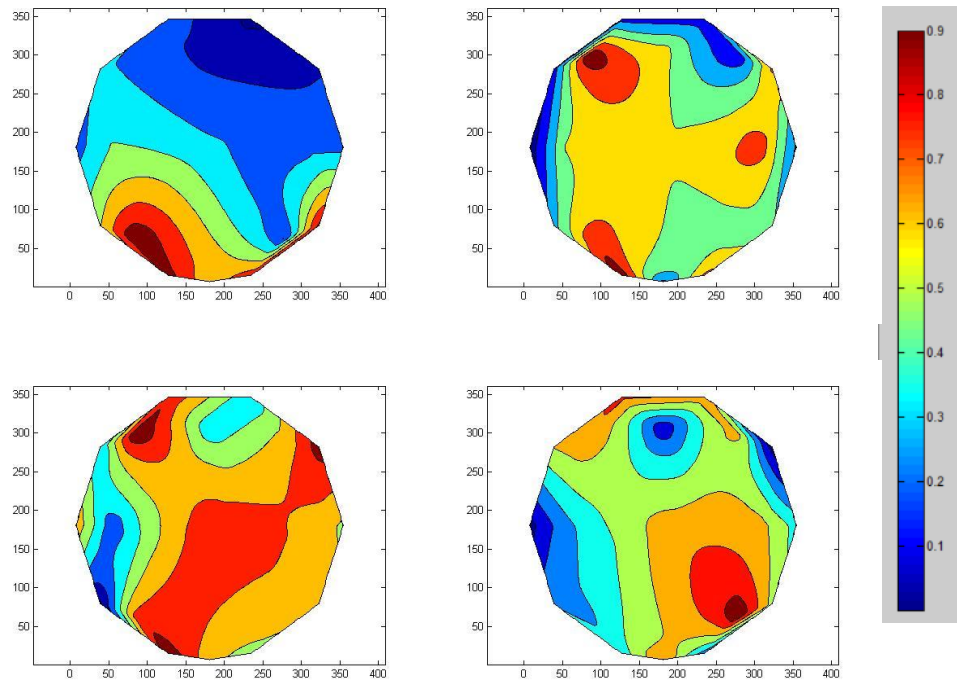


Figura 25. La mayor densidad de potencia puede apreciarse principalmente en sectores occipitales izquierdos de la banda Alpha. En cuanto a la banda Beta se observa un flujo en hemisferios izquierdo, donde existe mayor activación frontal y occipital.

Reposo con ojos cerrados vs Procesamiento oraciones comparativas

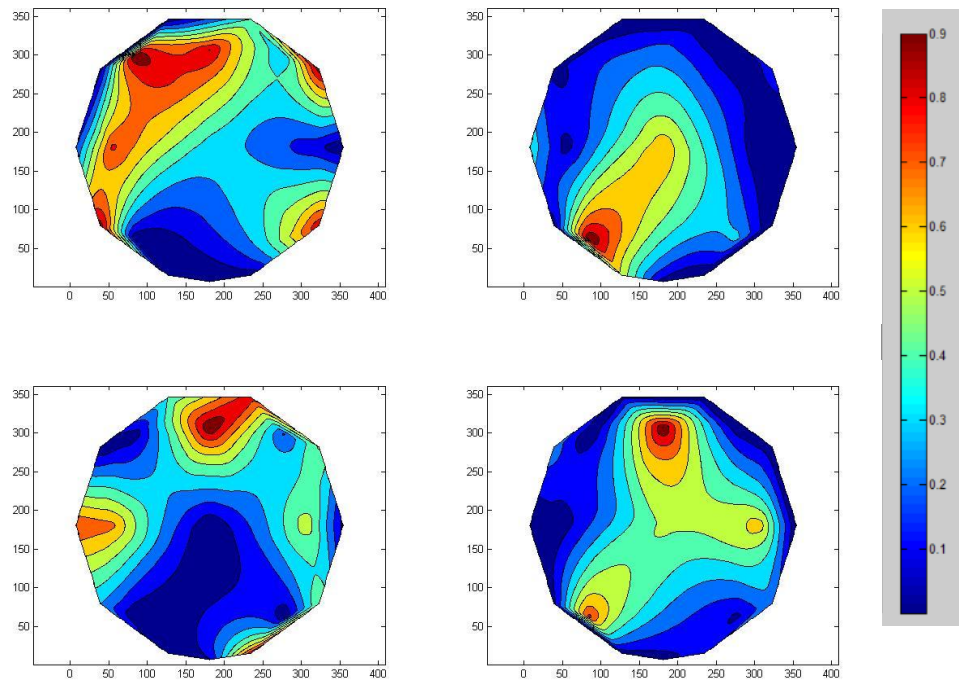


Figura 26. Las mayores diferencias se pueden observar en sectores occipitales, principalmente izquierdos en la banda Alpha. De igual forma, se aprecia diferencia en sectores frontales y temporo-parietales derechos en la banda Beta.

Reposo ojos cerrados vs procesamiento oraciones espaciales

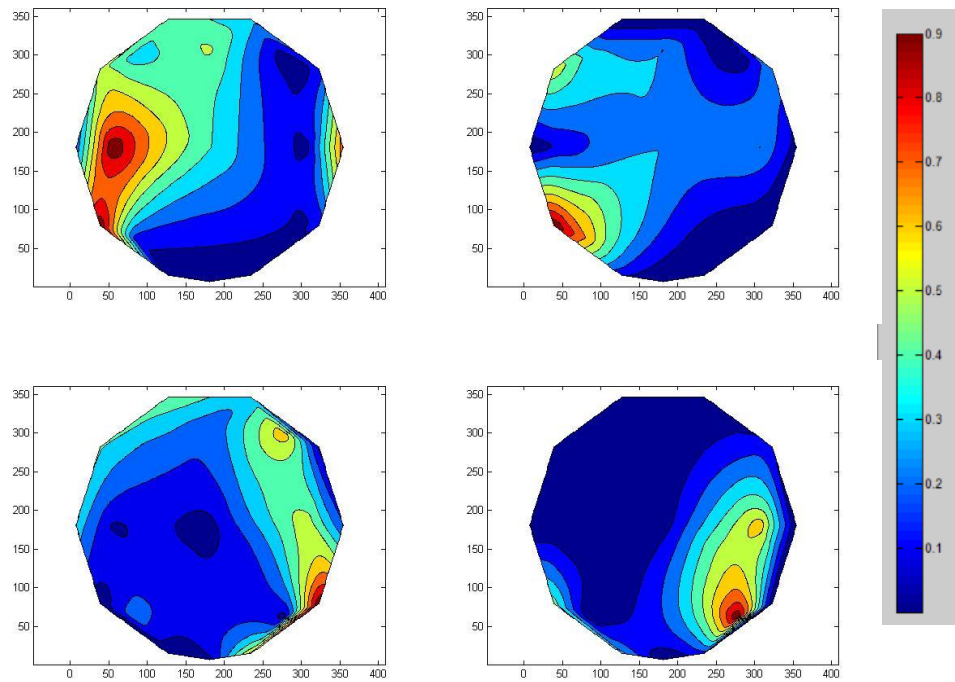


Figura 27. En cuanto a la banda Alpha, las diferencias se ubican principalmente en el hemisferio derecho, aunque también se observa en sectores occipitales izquierdos. El mapa refleja que existe diferencia en casi toda la banda Beta.

Reposo ojos cerrados vs Procesamiento oraciones temporales

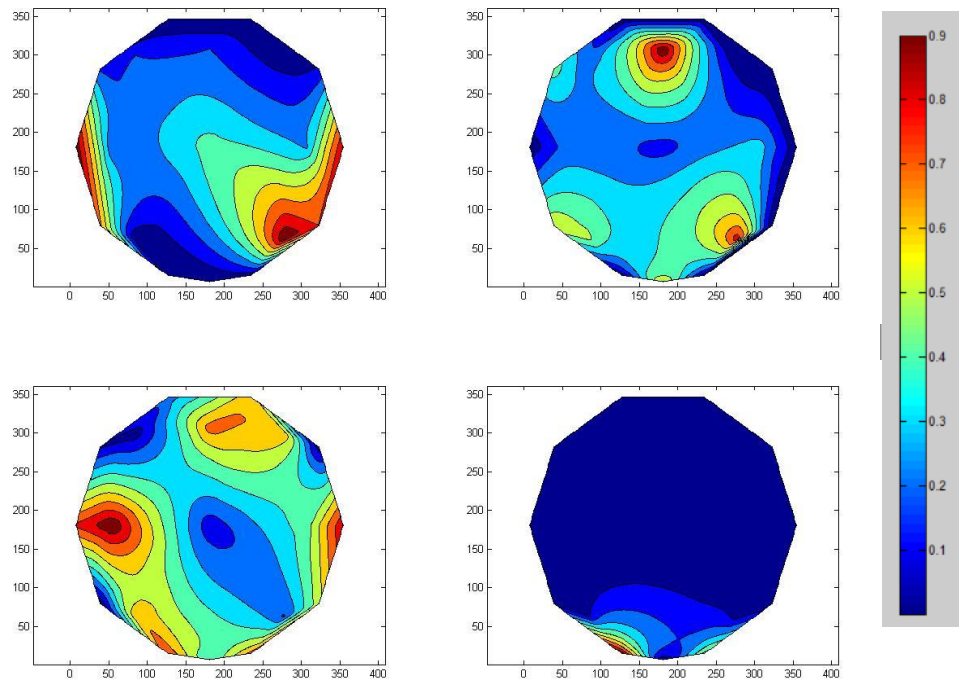


Figura 28. Las principales diferencias se expresan en el hemisferio izquierdo, aunque se aprecia un flujo hacia sectores frontales y occipitales derechos en la banda Alpha. De igual forma, lo respectivo a la banda Beta, se aprecia diferencias en zonas medias y en sectores frontales y temporales de ambos hemisferios.

Sujeto M

Reposo ojos cerrados

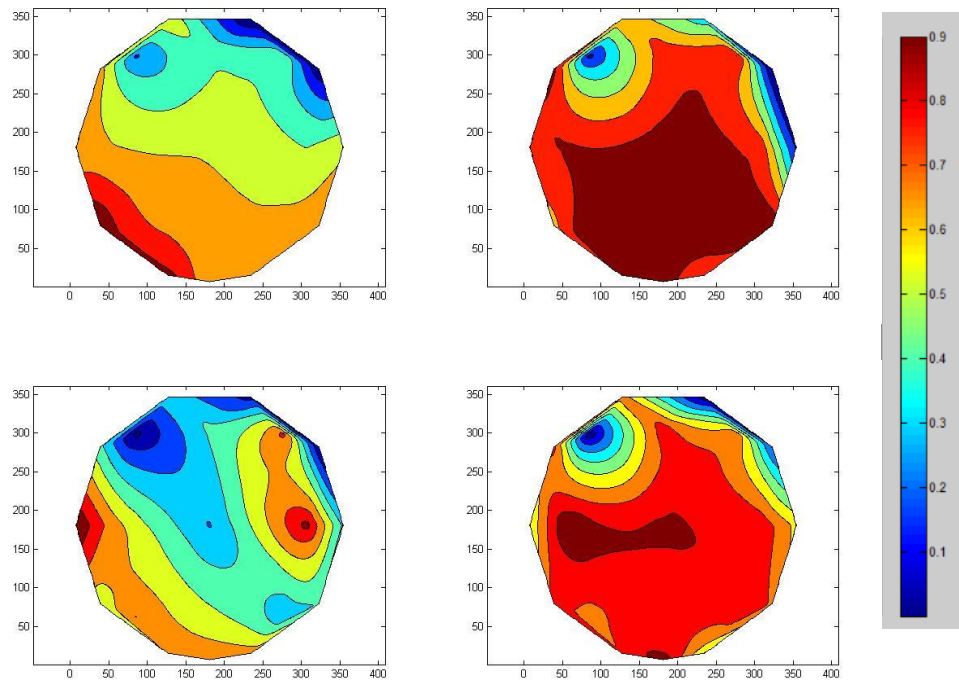


Figura 29. Se observa un aumento de la densidad de potencia en sectores occipitales principalmente izquierdos del ritmo Alpha. También se puede apreciar un incremento en sectores posteriores parieto-occipitales en ambos hemisferios de la banda Beta.

Procesamiento oraciones comparativas

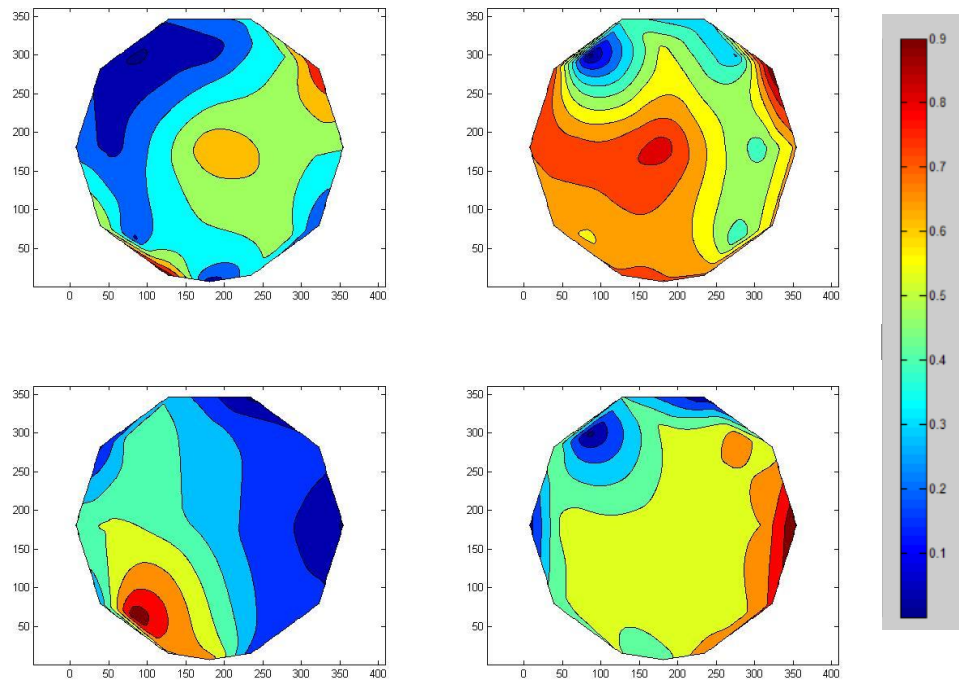


Figura 30. El mayor incremento de la densidad de potencia se aprecia en la banda Beta en sectores Temporo-parieto-occipitales izquierdos.

Procesamiento oraciones espaciales

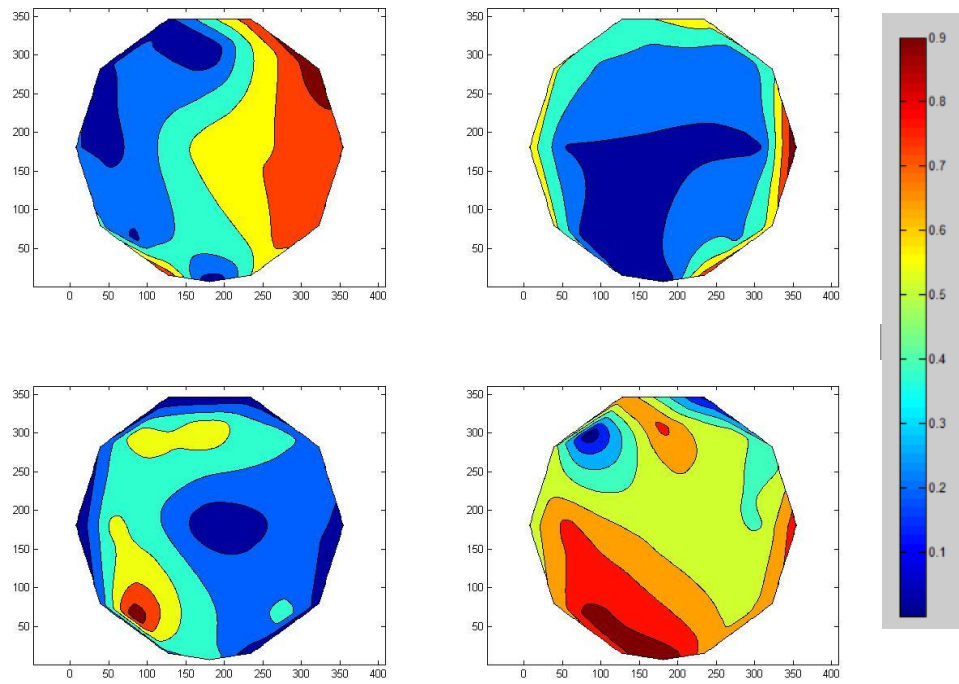


Figura 31. La mayor activación se encuentra en zonas parieto-occipitales izquierdas de la banda Theta y en sectores fronto-temporales del hemisferio derecho en la banda Alpha.

Procesamiento oraciones Temporales

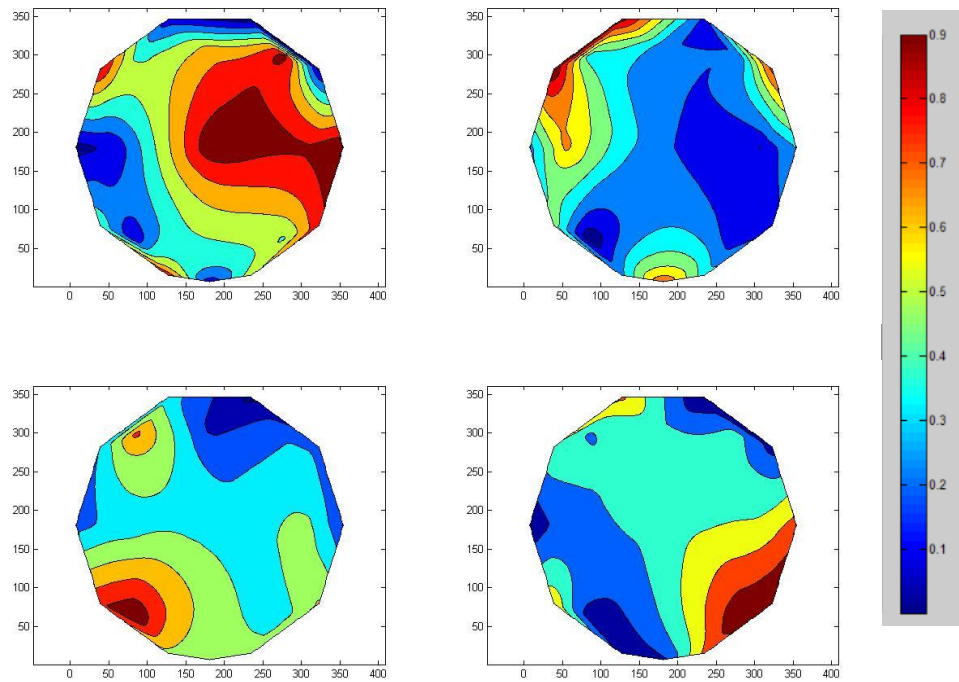


Figura 32. Se puede apreciar que la activación se ubica principalmente en el ritmo alpha del hemisferio izquierdo en sectores fronto-temporales. Es importante mencionar la ligera activación de los sectores parieto-occipitales derechos en la banda Theta.

Reposo ojos cerrados vs Procesamiento oraciones comparativas

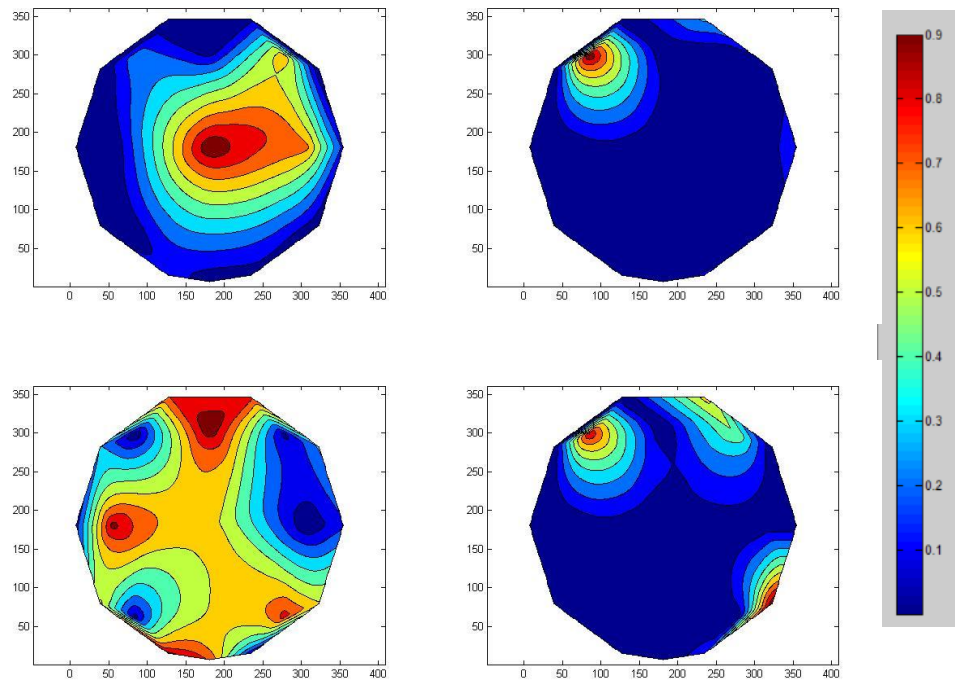


Figura 33. Las mayores diferencias pueden observarse en casi toda la actividad de la banda Beta, excepto en sectores frontales izquierdos.

Reposo ojos cerrados vs Procesamiento oraciones espaciales

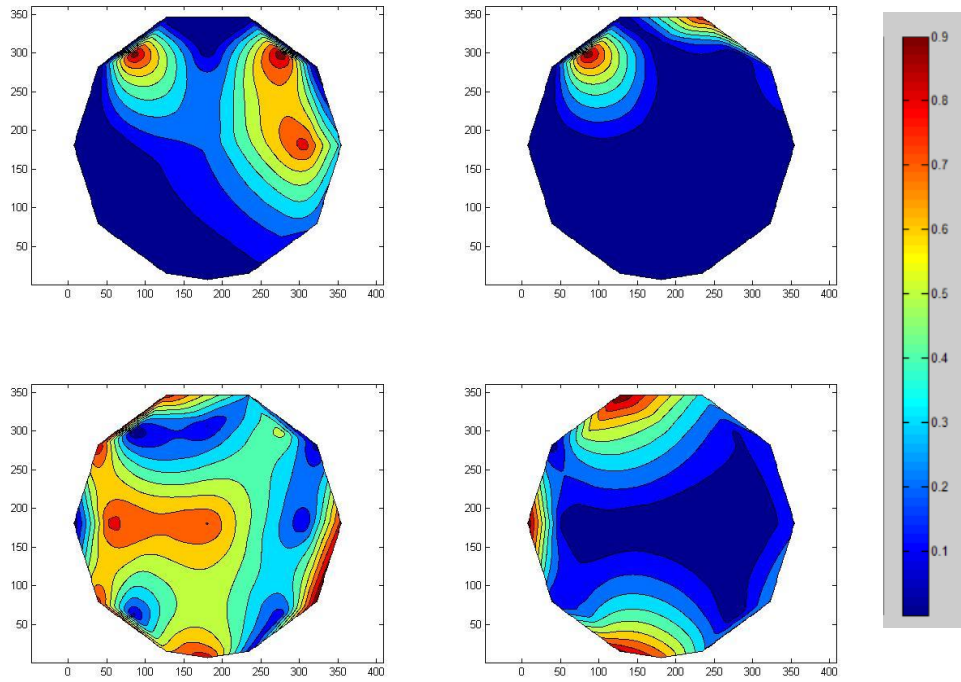


Figura 34. De igual forma, las mayores diferencias pueden observarse en casi toda la actividad de la banda Beta, excepto en sectores frontales izquierdos.

Reposo ojos cerrados vs Procesamiento oraciones temporales

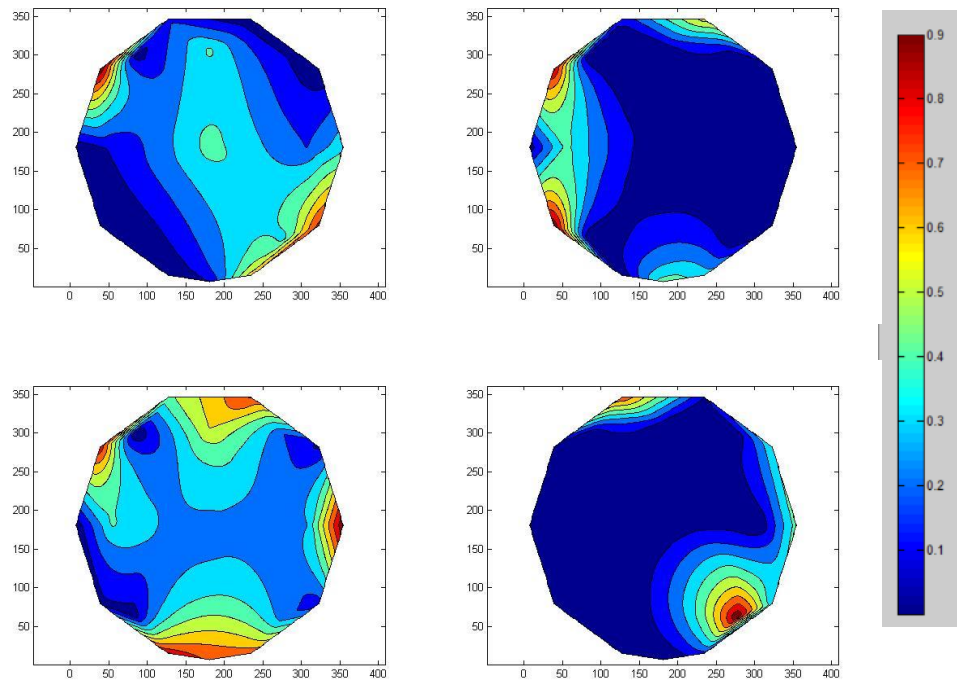


Figura 35. Nuevamente podemos observar que las mayores diferencias se encuentran en casi toda la actividad del ritmo Beta, exceptuando sectores fronto-parietales inferiores del hemisferio izquierdo.

Sujeto P

Reposo con ojos cerrados

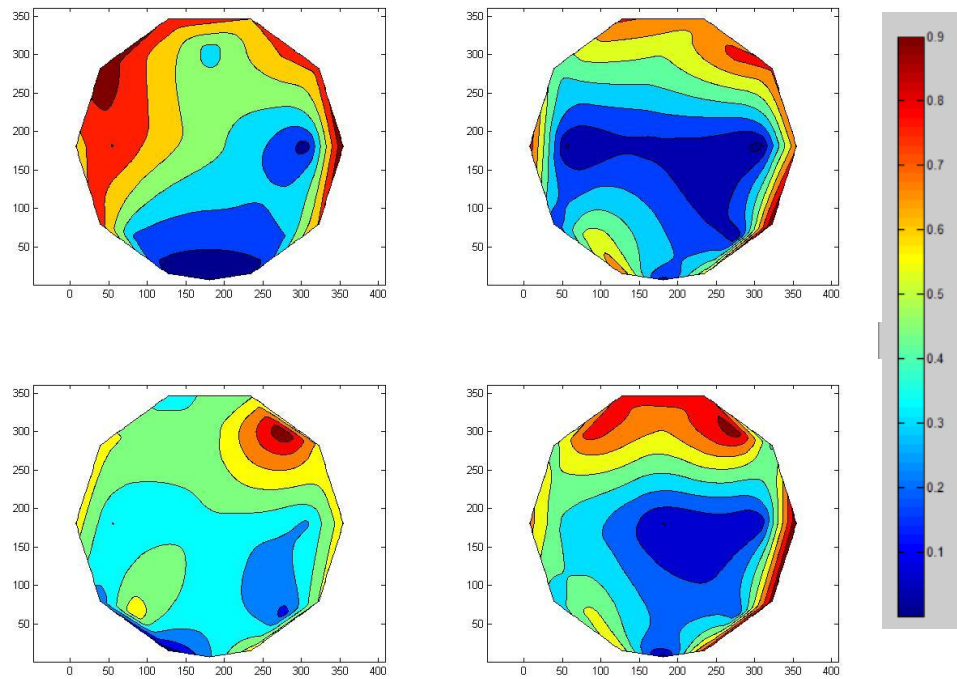


Figura 36. La mayor activación se observa en sectores frontales, principalmente de la banda Beta en sectores frontales en ambos hemisferios y zonas temporales del hemisferio derecho, de igual forma se observó activación de sectores fronto-temporales del hemisferio izquierdo en el ritmo Alpha.

Procesamiento oraciones comparativas

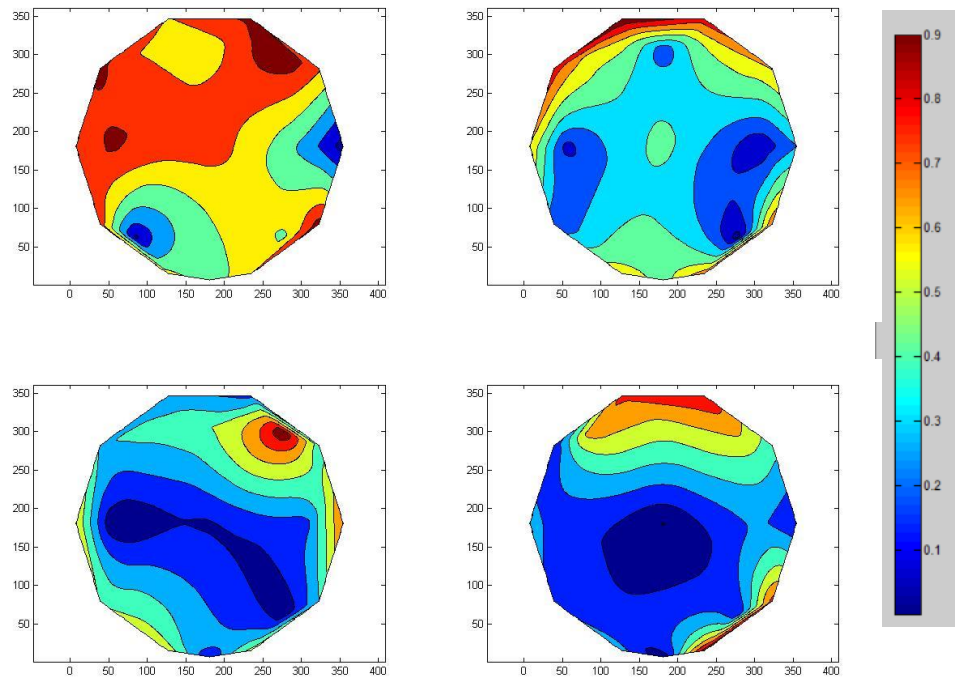


Figura 37. Se aprecia que la banda Alpha presenta la mayor densidad de potencia, principalmente en sectores frontales de ambos hemisferios y temporales izquierdos.

Procesamiento oraciones espaciales

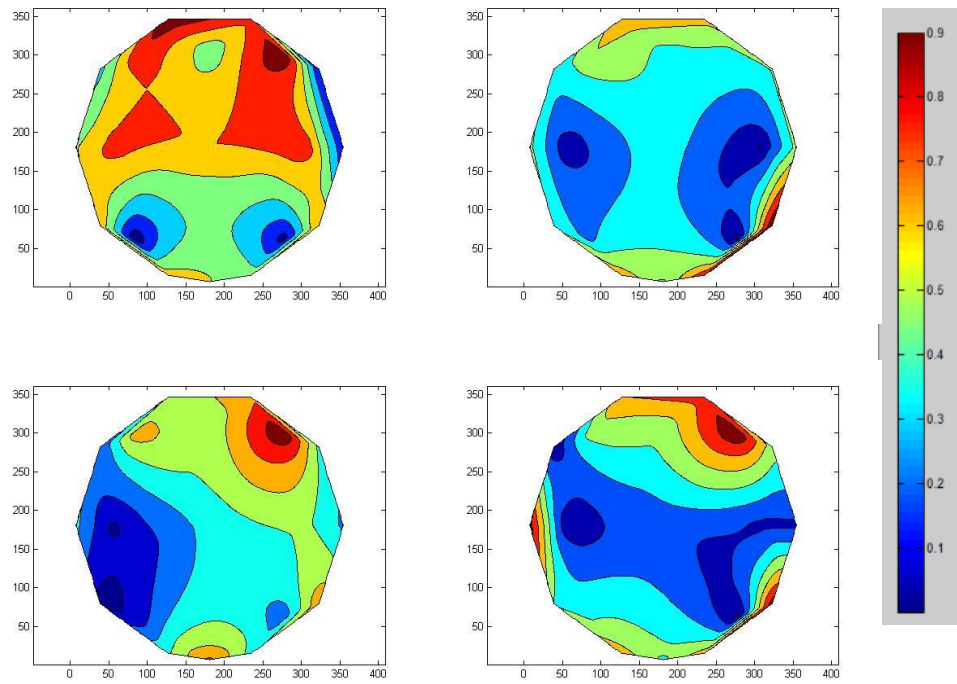


Figura 38. Nuevamente, la mayor activación de la densidad de potencia se observa en los sectores frontales de ambos hemisferios.

Procesamiento oraciones temporales

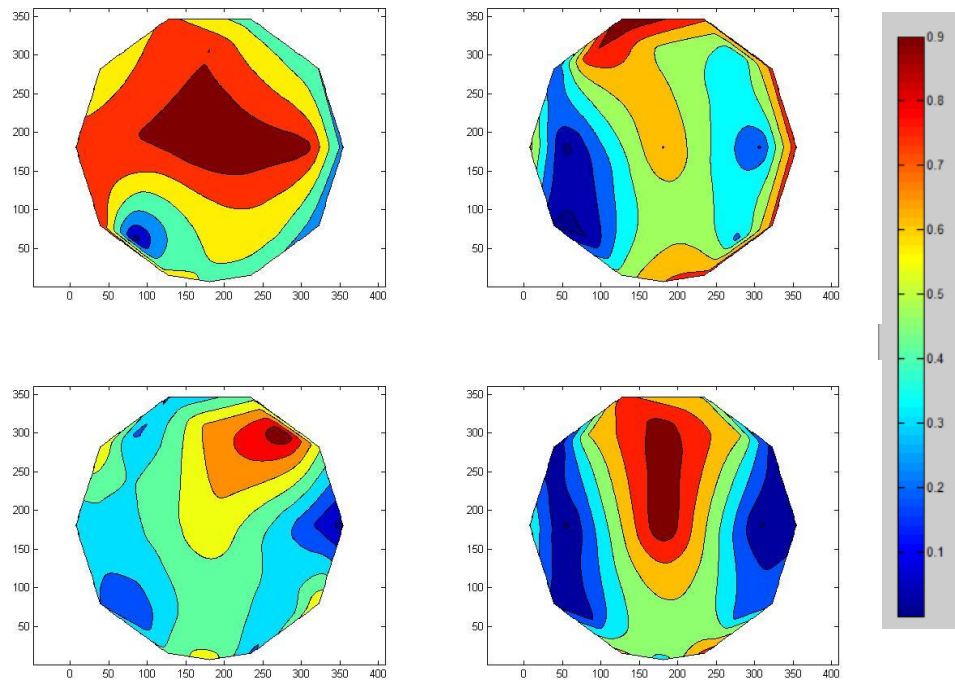


Figura 39. El aumento en la densidad de potencia puede observarse principalmente en sectores frontales y temporales del hemisferio izquierdo, extendiéndose hacia zonas medias en la banda Alpha.

Reposo con ojos cerrados vs Procesamiento oraciones comparativas

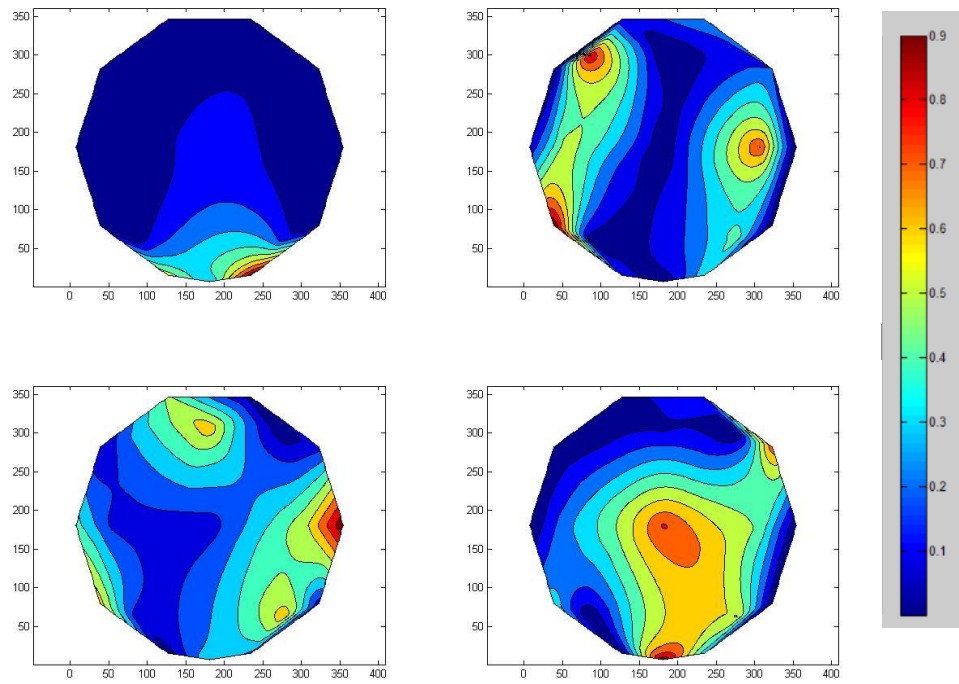


Figura 40. Las mayores diferencias se encuentran en el rimo Alpha en sectores frontales, así como en sectores medios del mapa en la banda Beta.

Reposo ojos cerrados vs Procesamiento oraciones espaciales

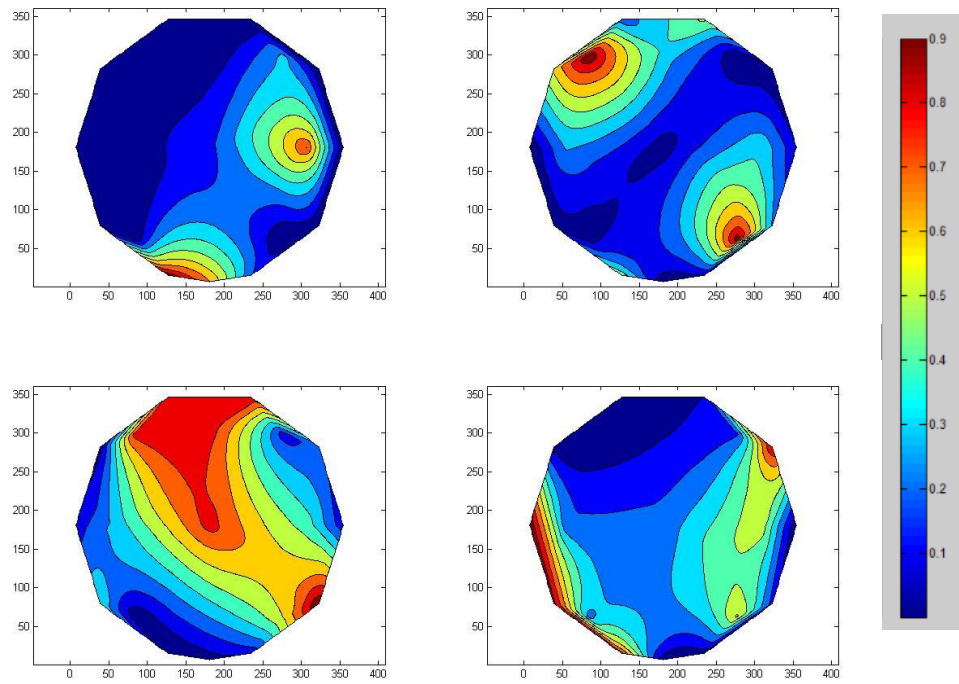


Figura 41. Se pueden apreciar claras diferencias en sectores frontales y temporo-parietales del hemisferio izquierdo en el ritmo Alpha.

Reposo ojos cerrados vs Procesamiento oraciones temporales

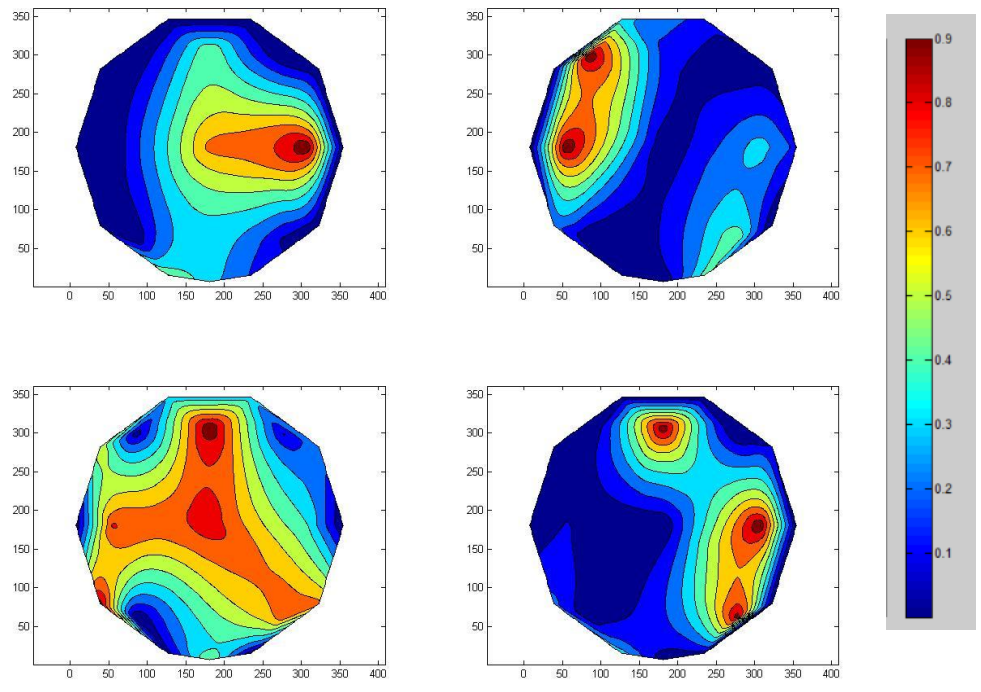


Figura 42. Las principales diferencias se ubican en sectores frontales y temporo-parietales del ritmo Alpha, así como sectores medios en la banda Beta.

Sujeto S

Reposo con ojos cerrados

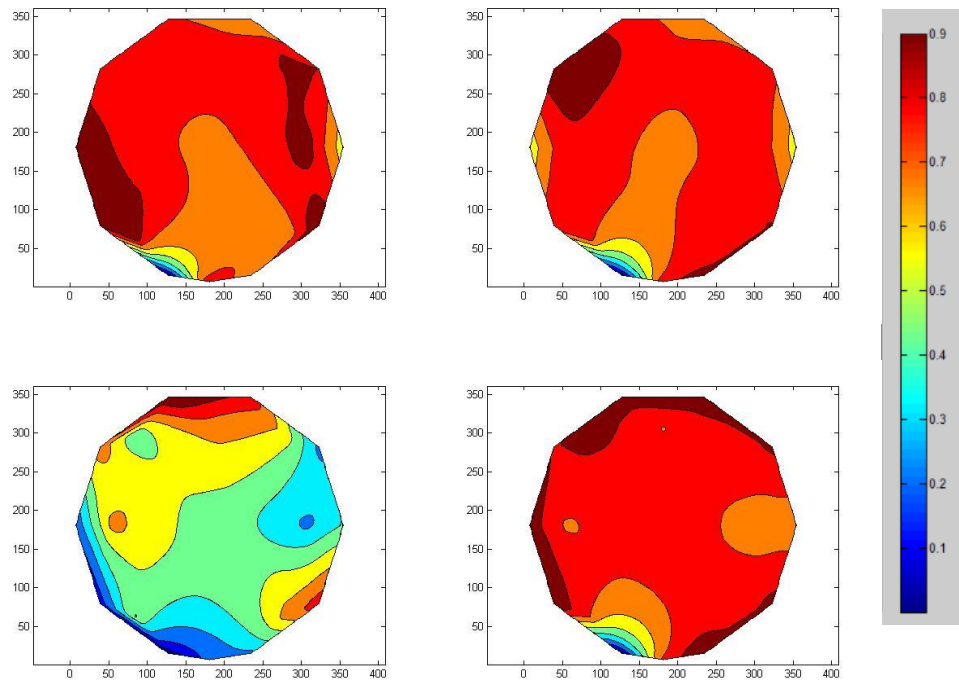


Figura 43. Se puede apreciar alta activación en la densidad de la potencia en casi todo el mapa en los ritmos Theta, Alpha y Beta.

Procesamiento oraciones comparativas

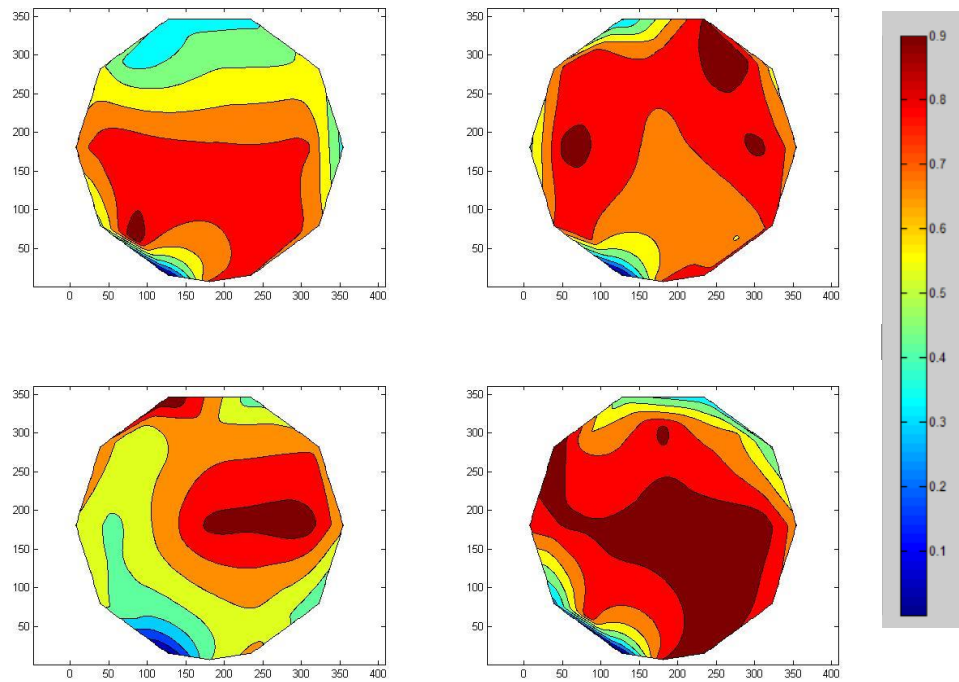


Figura 44. Se puede observar incremento en la densidad de potencia en sectores posteriores de la banda Alpha. Así como incremento en casi toda la actividad de la banda Beta, principalmente en sectores frontales.

Procesamiento oraciones espaciales

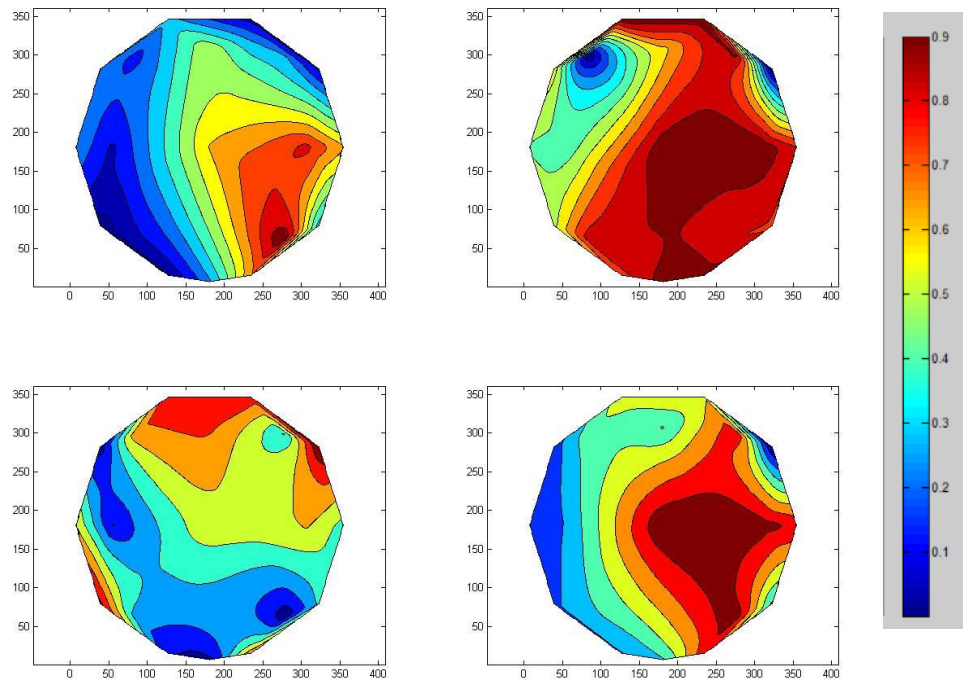


Figura 45. La mayor carga de incremento en la densidad de potencia se puede observar en el hemisferio derecho y en sectores occipitales de ambos hemisferios en el ritmo Beta.

Procesamiento oraciones temporales

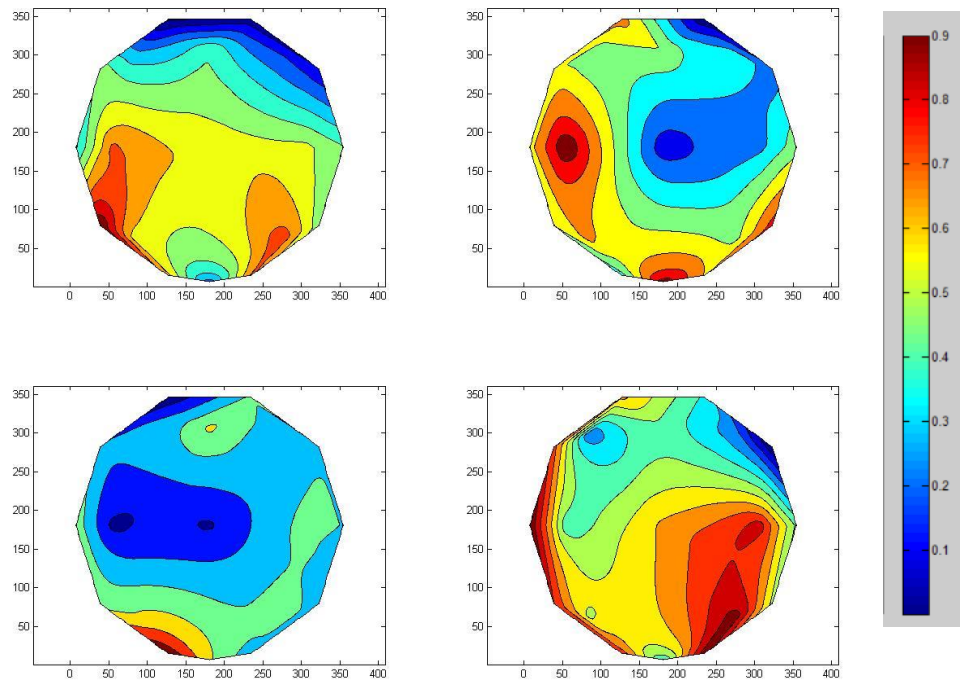


Figura 46. Se observa un mayor incremento en la densidad de potencia en sectores parietales inferiores izquierdos del ritmo Alpha. En cuanto a la banda Beta, se puede apreciar un incremento en sectores temporales superiores del hemisferio izquierdo.

Reposo ojos cerrados vs Procesamiento oraciones comparativas

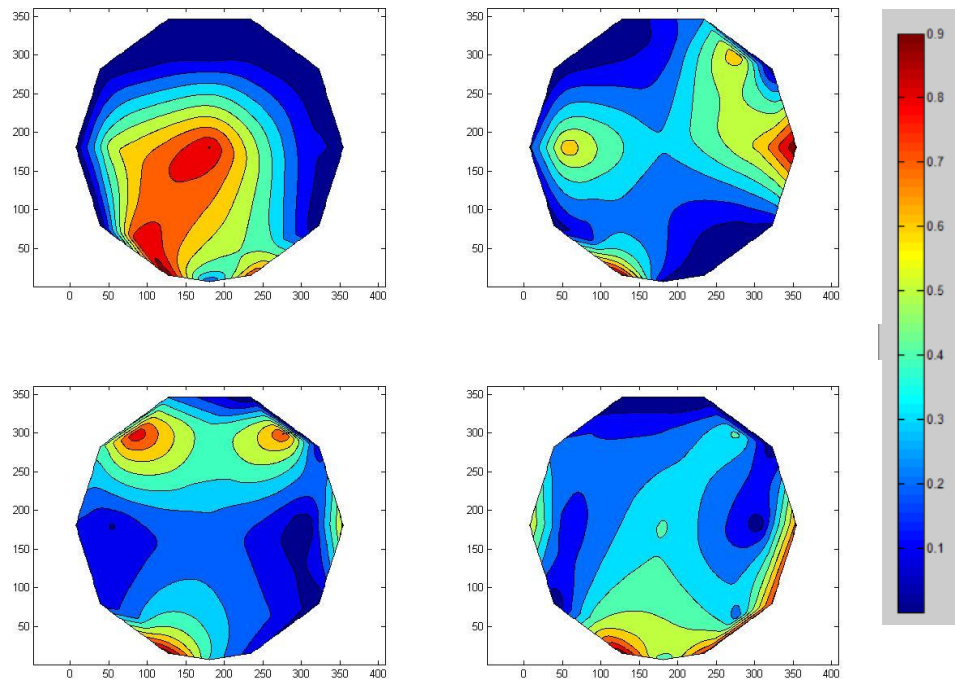


Figura 47. Las mayores diferencias se observaron en sectores frontales izquierdos en el ritmo Alpha y en sectores occipitales derechos y frontales izquierdos de la banda Beta.

Reposo ojos cerrados vs Procesamiento oraciones espaciales

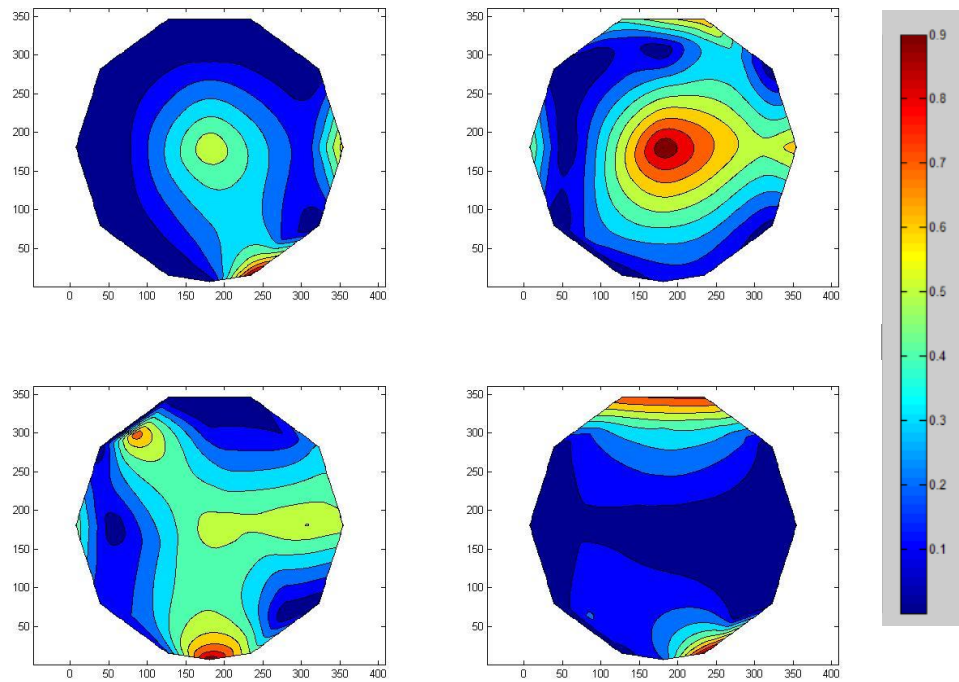


Figura 48. Las principales diferencias se pueden observar en sectores frontales de ambos hemisferios y en la mayor parte del hemisferio izquierdo del ritmo Alpha. De igual forma, existen diferencias en sectores izquierdos anteroposteriores en la banda Beta.

Reposo ojos cerrados vs Procesamiento oraciones temporales

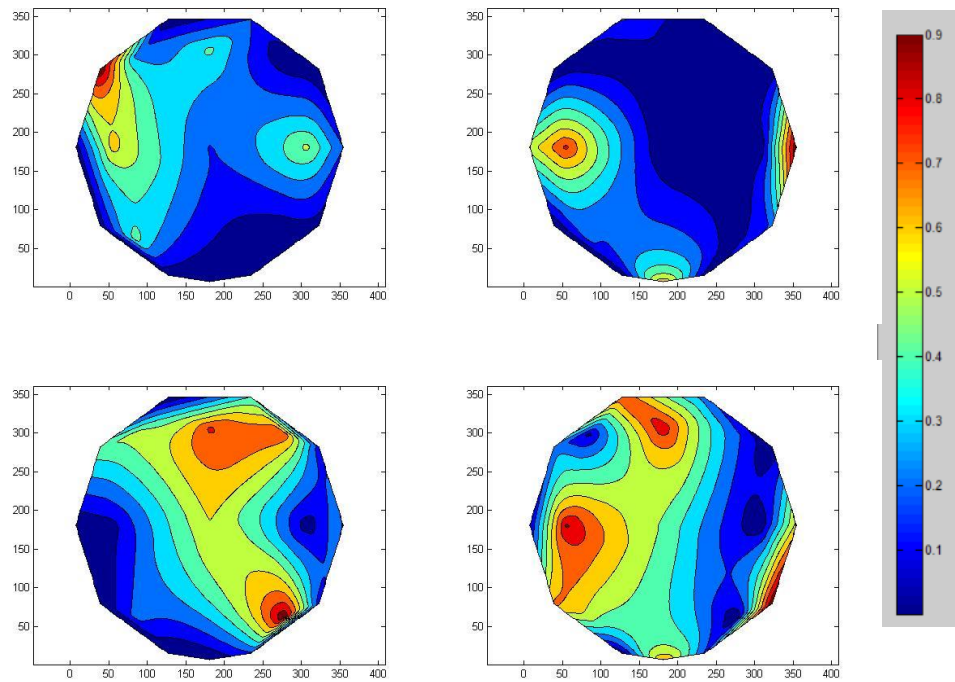


Figura 49. Las principales diferencias se observan en sectores occipitales, principalmente derechos, en el ritmo Alpha. De igual forma, se aprecian marcadas diferencias en los sectores frontales y posteriores del hemisferio derecho en la bada Beta.

5.2 Ejemplo del análisis espectral del procesamiento de una sola oración a través de la densidad de potencia de cada banda del EEG

Paciente H

Oración de tipo comparativa

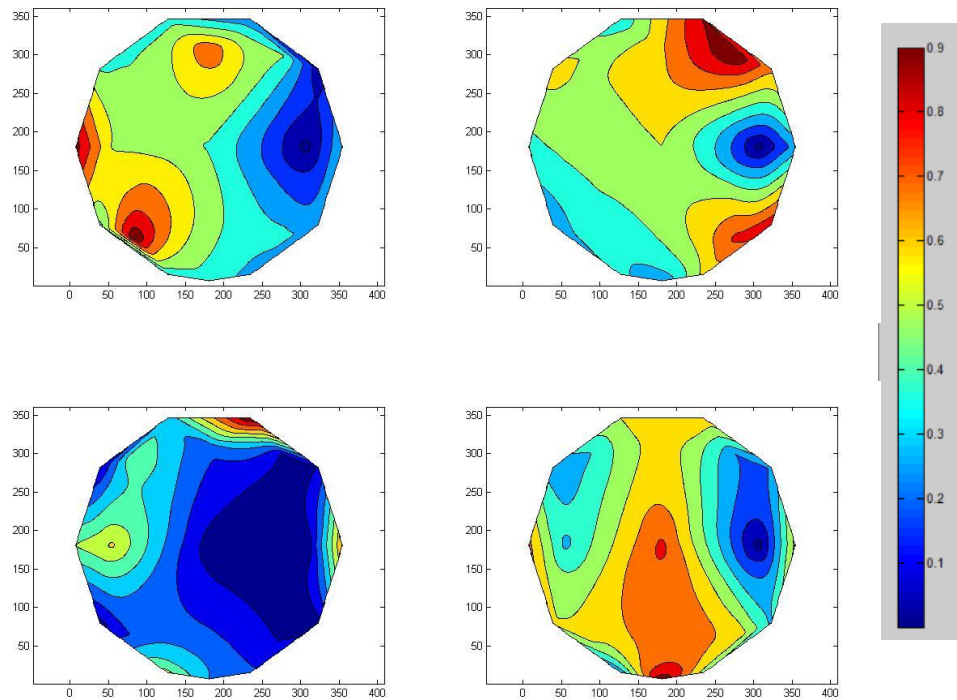


Figura 50. A partir de este ejemplo y si nos referimos al análisis espectral promediado de las oraciones comparativas del paciente H, se puede observar que el procesamiento es diferente, ya que en este mapa de una oración específica, el aumento en la densidad de potencia es menos generalizado y permite valorar de mejor forma zonas específicas de activación. En ese sentido, se puede observar que en la banda Alpha hay incremento de la potencia en las regiones de la línea media frontal con coactivación en las regiones temporales mediales y posteriores, y menor potencia absoluta en las zonas temporales superiores y mediales del hemisferio derecho. En cuanto a la banda Beta, las principales zonas de activación son en el hemisferio derecho, principalmente en zonas frontales y en sectores occipitales superiores.

6. Discusión

Actualmente los análisis sobre conectividad funcional han tenido un fuerte impacto en la neuropsicología, pues estos permiten evaluar zonas distantes del cerebro. A través de este proyecto de investigación se pudo valorar la compleja actividad cerebral que se requiere ante la comprensión de diferentes tipos de oraciones, en ese sentido, no permitimos realizar un análisis más profundo de los resultados y comprender que fue lo que sucedió.

Debido a la heterogeneidad de los participantes en esta investigación, se tomó la decisión de realizar un análisis por cada uno de los casos.

En el caso de los sujetos sanos:

El sujeto M tuvo un mal desempeño en la comprensión de las oraciones, acercándose al desempeño establecido por los pacientes, a excepción de que éste realizaba la solución de las oraciones en un menor tiempo (casi la mitad, como el resto de los sujetos control). La mayor cantidad de errores de este paciente, se observaron en oraciones temporales, esto es importante, ya que el paciente se mostró impulsivo durante todo el registro y se observó una mayor activación de la densidad de potencia en sectores frontales de la banda Alpha.

El sujeto P se caracterizó por tener un excelente desempeño en la comprensión de oraciones, curiosamente, la mayor activación de la densidad de potencia se registró en sectores frontales principalmente del hemisferio izquierdo, aunque en las oraciones comparativas y temporales se registró en ambos hemisferios.

Finalmente, la paciente S que también tuvo un excelente desempeño en la comprensión de oraciones, se caracterizó por tener un predominio de activación de ambos hemisferios en la banda Beta.

En el caso de los pacientes:

El Paciente A, tuvo el principal nivel de activación de la banda Beta en sectores del hemisferio izquierdo, ya que su evento vascular fue hemorrágico, este tuvo afecciones en sectores del hemisferio derecho, esto es importante ya que nos permite hacer inferencias sobre la conservación del hemisferio izquierdo que es atribuido al lenguaje, ya que la mayor densidad de potencia se observó en sectores temporo-parieto-occipitales y parieto-occipitales para los tres tipos de oración. Es importante el análisis específico de este paciente, ya que fue uno de los que tuvo un mejor desempeño conductual.

El paciente H se observa un aumento de los sectores medios y temporales del hemisferio izquierdo, únicamente para las oraciones de tipo comparativa, sin embargo, la densidad de potencia para las oraciones espaciales, donde se aprecia el peor desempeño de este paciente, se observa en sectores medios del hemisferio izquierdo. Es necesario incluir el diagnóstico neuropsicológico por cada paciente en la discusión.

En cuanto al paciente J su actividad Beta se centra principalmente en sectores medios del mapa cerebral, cabe destacar que este paciente presentó serias dificultades para la comprensión de oraciones de tipo temporal.

La paciente M quien también presentó un desempeño más homogéneo tuvo una mayor activación de ambos hemisferios principalmente en banda Beta para la solución del paradigma experimental.

El incremento de la actividad en el HD permite reforzar la hipótesis de Broca (1865) acerca de que la recuperación del paciente se debe a que el HD asume las funciones perdidas o

desintegradas. Sin embargo es necesario analizar los cambios en la actividad cerebral después de la rehabilitación de los pacientes.

Algunos autores sugieren que el hemisferio derecho (HD) asumirá las funciones perdidas del hemisferio izquierdo (HI) (Broca, 1865; Winhuisen y Cols., 2005; Rijntes, 2006), Luria (1947) que la recuperación resulta de la reorganización de los sistemas funcionales dentro del HI, mientras que otros sugieren que la activación del HD resulta de una mala adaptación, por sobreexcitación, debido a la pérdida de la inhibición proveniente del HI por vía callosa (Price y Crinion, 2005; Postman-Cacheteux y Cols., 2010). Estas hipótesis vigentes se orientan a profundizar en la comprensión de las bases cerebrales que subyacen a la recuperación.

Estos resultados nos permiten inferir que el lenguaje es una función cognitiva superior, respaldada por redes cerebrales a gran escala (Zhu, Chang, Freeman, Tan, Xiao, Gao, y Kong, 2014). Lo cual demuestra que la comprensión del mismo depende de la correcta colaboración de ambos hemisferios.

Luria (1984) demostró que el lenguaje, como proceso neuropsicológico que se representa como un sistema funcional complejo a nivel cerebral, es el resultado de la interacción de varias zonas cerebrales trabajando concertadamente para un fin. De esta forma podemos aproximarnos a un análisis de la actividad en diferentes niveles: psicológico, fisiológico, neuropsicológico e, incluso, neurolingüístico.

Leontiev (1993) menciona que al momento de realizar las acciones que en este caso se enfocaba en el análisis de la oración, los pacientes debían comprender adecuadamente las unidades léxicas, captar la estructura sintáctica de la oración, hacer una descripción

semántica de la misma y extraer el sentido de ésta. Posteriormente, debían realizar la operación, seleccionando la imagen que corresponde a la oración.

En ese sentido, cuando se considera a la comprensión del lenguaje desde el punto de vista psicológico (definido por la actividad a ejecutar), neurolingüístico (definido por la descomposición de los niveles de la comprensión y las estructuras que los soportan) y psicofisiológico (definido por el establecimiento de sistemas funcionales organizados jerárquicamente en unidades funcionales) obtenemos una mirada multidimensional de un proceso complejo y activo.

Por otro lado, en cuanto al análisis electrofisiológico, Lopes Da Silva (2011) indica que las oscilaciones más lentas (Delta) son adecuadas para establecer un sesgo funcional en grandes poblaciones de neuronas; las oscilaciones intermedias (Theta y Alpha) son óptimas para modular la transferencia de información a través de poblaciones específicas; finalmente, las oscilaciones rápidas (Beta y Gamma) son adecuadas para involucrar poblaciones relativamente discretas para lograr la transferencia de paquetes específicos de información entre ensambles neuronales.

Algunos estudios que se han realizado previamente, han asociado las oscilaciones de diferentes bandas del EEG a ciertos procesos cognitivos, por ejemplo, se ha demostrado que existe aumento de las oscilaciones de origen hipocampal moduladas por el movimiento en una situación experimental que requieren procesos como memoria de trabajo. De igual forma, se ha observado aparición de actividad Theta en zonas prerolándicas y de los lóbulos temporales como resultado de planeación del movimiento durante períodos de espera voluntaria en comportamientos orientados a una meta. Otros estudios han mostrado que la amplitud de la actividad theta aumenta durante la tarea de Sternberg, de memoria a corto plazo, así como activación en la corteza cingulada dorsal anterior en tareas de memoria

verbales (Arnolds y Cols.,1980; Caplan, 2003; Ragavachari y Cols., 2001; Onton y Cols., 2005). Estos estudios nos permiten inferir que existe cierta relación en el aumento de la actividad de la banda Theta ante tareas que exigen la codificación de información, principalmente audio-verbal. En el caso de nuestros pacientes, se puede observar que hubo aumento de la banda theta, sin embargo esta fue más generalizada y no se limitó a sectores temporales, como lo señalan otros estudios.

En cuanto a la actividad Alpha se ha investigado que, cuando esta tiene un origen subcortical, predomina principalmente en el núcleo geniculado lateral del tálamo, demostrando que desempeña un rol crítico de la inhibición fásica que controla dicha estructura, funcionando como una “puerta moduladora” (inhibición funcional) de información visual. De igual forma, se ha establecido que el aumento de ritmo Alpha occipital se asocia con la supresión activa de posiciones desatendidas del campo visual, estableciendo el rol inhibitorio de estas oscilaciones en procesos atencionales, en ese sentido, el lóbulo inferotemporal, situado al tope de la vía dorsal, puede ser crítico para los procesos de control de la atención visual de áreas jerárquicamente inferiores (Rihs y Cols., 2007; Bollumunta y Cols., 2008; Alpha Lörincz y Cols., 2009). Esto puede dar una pauta del aumento de ritmo Alpha en sectores occipitales de nuestros pacientes, lo cual permite inhibir otros estímulos y enfocar su atención en la tarea para resolverla adecuadamente, sin embargo, como se mencionó anteriormente, en la mayoría de los casos la activación era generalizada, a excepción de los controles quienes tuvieron un aumento de la densidad de potencia de la banda Alpha en sectores frontales.

Por otro lado, se ha observado la presencia de actividad Beta durante movimientos exploratorios de los miembros periféricos, por ello, se ha concluido que estas oscilaciones no guardaban relación con el movimiento sino con procesos atencionales durante comportamientos demandantes sensorio-motores. Adicionalmente, los resultados en otras

investigaciones revelan que la preparación de un acto motor produce actividad Beta en áreas primarias sensorio-motoras (Murthy y Fetz, 1996; Neuper, 1997). En el caso de nuestros pacientes, se pudo observar un aumento de actividad Beta, esto puede deberse a que se les pedía que imaginaran la oración, la prepararan en su mente y posteriormente contestaran, estas activaciones se observaron principalmente en sectores posteriores, aunque en algunos casos la activación se dio en sectores mediales del mapa, esto principalmente en oraciones temporales y espaciales, las cuales resultaron ser más complejas o tardaban más tiempo en dar una respuesta. En el caso de los sujetos sanos, también se evidencio un aumento de la banda Beta, excepto en uno de los casos, el sujeto P, cuya actividad fue más frontal a nivel de Alpha y no tomaba mucho tiempo para pensar la respuesta. Sin embargo, es importante resaltar que nuevamente la actividad no se limitaba a una zona específica, sino que se generalizaba por todo el mapeo.

En ese sentido, es importante señalar (como se observó en la figura 50) que fue diferente hacer un análisis con la densidad de potencia del promedio de todas las oraciones que realizar un análisis de un solo tipo de oración de un solo sujeto. Este tipo de análisis permitiría valorar específicamente los errores y aciertos en cada oración o el incremento de la potencia en cada ítem para tener un mayor entendimiento del por qué una oración puede resultar más compleja que otra, aunque ambas sean del mismo tipo o incluso permite realizar un entendimiento más profundo de los procesos que subyacen la comprensión de diferentes tipos de oraciones, pues destacamos que realizar un análisis por promedio, esconde la actividad individual de los sujetos. El análisis de cada tipo de oración permitirá realizar un mejor correlato neuropsicológico, lingüístico y electrofisiológico.

Siguiendo estas concepciones, nos olvidamos del concepto de función específica y adoptamos una visión integral apoyándonos del concepto de sistema funcional propuesto por Luria (1986). Este autor

señala que el rasgo más importante de dichos sistemas es que se apoya de diversos eslabones localizados en diferentes niveles del sistema nervioso y estos vínculos pueden cambiar, sin alterar la tarea psicológica (León-Carrión, 2002). En ese sentido, la localización de los sistemas funcionales se encuentra más como centros dinámicos que como centros fijos.

Estos centros dinámicos conservan la diferenciación y llevan a cabo un papel especializado en actividades integradas. Esta idea nos permite justificar por qué la heterogeneidad de los pacientes para resolver una misma tarea, pues cada uno tuvo un aumento de la densidad de potencia de las bandas del EEG en diferentes zonas cerebrales.

Este hallazgo nos permite proponer que cada paciente debe ser observado y valorado en condiciones individuales, pues cada sujeto desarrollará sistemas funcionales complejos individualizados, los cuales permitirá resolver las mismas tareas que otros sujetos desarrollen de diferente forma, lo que nos indica que cada persona llegará a la misma meta, pero a través de diferentes eslabones.

Finalmente comprender la conectividad de una red completa es fundamental tanto para comprender su funcionamiento normal como para explicar las vías de recuperación cerebral, en ese sentido, la función de cualquier región del cerebro no puede entenderse aisladamente, sino sólo en conjunto con las regiones con las que interactúa a través de un sistema funcional complejo.

6.1 Limitaciones

Algunas de las principales limitaciones del presente estudio se basan en el número de pacientes y de sujetos sanos que se tomó, pues debido a las condiciones experimentales y a la selección de la muestra, no fue posible poder realizar el paradigma experimental a más sujetos que presentaron dicha enfermedad. Esto se vio reflejado pues muchos de los pacientes tenían una escolaridad menor a secundaria, además de que no se encontraban en las

condiciones necesarias para transportarse al hospital universitario donde se llevaba a cabo el registro de EEG.

Algunas de las recomendaciones para investigaciones futuras, además del aumento de la muestra, sería que se buscara una homologación 1 a 1 para realizar una comparación más completa de lo que sucede en un cerebro sano y en uno con un evento vascular cerebral. Este estudio al ser novedoso en la comprensión de oraciones específicas y su sustrato psicofisiológico, permite evidenciar que durante la selección de la muestra se debe tener cuidado en las características sociodemográficas de los pacientes y de los sujetos controles.

Finalmente, debe hacerse una revisión de las oraciones que se realicen, así como tratar de homogeneizar la complejidad de las mismas o dividir el paradigma entre los diferentes tipos de oración, pues se evidenció una principal dificultad en oraciones de tipo temporal más que en oraciones comparativas. Se recomienda realizar más estudios que permitan dar respuesta de por qué ciertos tipos de oraciones resultan más difíciles en la comprensión que otros.

7. Conclusiones

- A pesar de que el desempeño de los sujetos sanos y de los pacientes no fue tan diferente, se observaron dificultades en los tiempos de selección de las respuestas, ya que los pacientes tardaron casi el doble de tiempo que los sujetos sanos en realizar el procesamiento de la oración.
- Se observó heterogeneidad en la activación de los ritmos del EEG, evidenciando un aumento en la densidad de potencia en diferentes regiones cerebrales y en diferentes bandas, lo que nos permite suponer la participación de sistemas funcionales complejos para la solución de tareas de comprensión de diferentes tipos de oraciones.

- Se puede inferir una participación importante de bandas Theta, Alpha y Beta para la comprensión de oraciones. De igual forma, se debe prestar atención a la activación en sectores parieto-occipitales y frontales del hemisferio izquierdo o su compensación en la activación del hemisferio derecho.
- El lenguaje como proceso psicológico superior, requiere la participación de diferentes áreas cerebrales, evidenciando de esa misma forma la participación bihemisférica.
- Los análisis a partir de datos promedio no permiten valorar la actividad individual intersujetos, de esa forma, se recomienda hacer un análisis específico de cada ítem, trasladando el modelo de análisis del error propuesto por Luria (1986).
- La comprensión de oraciones se debe estudiar desde los niveles neuropsicológico, lingüístico y fisiológico.
- Es importante valorar la densidad de potencia en un paradigma experimental similar en sujetos que ya hayan tenido un proceso de rehabilitación donde se evidencien cambios específicos.

8. Referencias

- Adams, D., Victor, M. y Ropper, A. (1985). *Principles of neurology*. New York: McGraw-Hill.
- Ahlsén, E. (2006). *Introduction to Neurolinguistics*. Amsterdam: John Benjamins Publishing Co.
- Álvarez, M., Trápaga, M., & Morales, C. (2005). *Principios de neurociencias para psicólogos*. Buenos Aires: Paidós.

- Anojín, P. (1987). *Psicología y la filosofía de la ciencia. metodología del sistema funcional*. México: Trillas.
- Ardila, A. (2005). *Afasia*. Miami, Florida State University.
- Ardila, A y Rosselli, M. (2007). *Neuropsicología clínica*. México: Manual Moderno.
- Arnolds, D. E., Lopes da Silva, F. H., Aitink, J. W., Kamp, A., y Boeijinga, P. (1980). The spectral properties of hippocampal EEG related to behaviour in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 50(3-4), 324-328.
- Breasted, J. H. (1930). *The Edwin Smith Surgical Papyrus [Vol. I: Hieroglyphic translation; vol. II: Facsimile plates and line for line hieroglyphic transliteration.]* Chicago: The University of Chicago Press.
- Broca, P. (1865). Sur le siège de la faculté du langage articulé. *Bulletins de la Société d'anthropologie de Paris*, I^o Série. Tome 6, 1865.: 377-393.
- Cabrera Rayo, A., Martínez Olazo, O., Laguna Hernández, G., Juárez Ocaña, R., Rosas Barrientos, V., Loria Castellanos, J., Rumbo Nava, U. (2008).
- Carter, A. R., Shulman, G. L., & Corbetta, M. (2012). Why use a connectivity-based approach to study stroke and recovery of function?. *Neuroimage*, 62(4), 2271-2280.
- Catani, M., Jones, D.K., and ffytche, D.H. (2005). Perisylvian language networks of the human brain. *Ann. Neurol.* 57, 8–16. doi:10.1002/ana.20319.
- Chiquete, E., Ruiz Sandoval, J., Murillo Bonilla, L., Arauz, A., Villareal Careaga, J., Barinagarrementeria, F., y Cantú Brito, C. (2011). Mortalidad por enfermedad vascular cerebral en México 2000-2008: Una exhortación a la acción. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 12(5), 235-241.

- Caplan, J. B., Madsen, J. R., Schulze-Bonhage, A., Aschenbrenner-Scheibe, R., Newman, E. L., y Kahana, M. J. (2003). Human theta oscillations related to sensorimotor integration and spatial learning. *The Journal of neuroscience: The official journal of the Society for Neuroscience*, 23(11), 4726-4736.
- Eling, P., & Whitaker, H. (2010). Chapter 36: history of aphasia: from brain to language. *Handbook Of Clinical Neurology*, 95571-582. doi:10.1016/S0072-9752(08)02136-2
- Finger, S. (2000). *Minds behind the brain. A history of the pioneers and their discoveries*. Oxford/New York: Oxford University Press.
- Flyvbjerg, B. (2004). Cinco malentendidos acerca de la investigación mediante los estudios de caso. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas (REIS)*, 106(1), 33-62.
- Galindo, G., Pelayo, H., Solovieva, Yu. y Quintanar. (2014). Rehabilitación neuropsicológica en un caso de afasia motora aferente / Neuropsychological Rehabilitation in a Case of Afferent Motor Aphasia / Reabilitação neuropsicológica num caso de afasia motora aferente. *Pensamiento Psicológico*, (2), 97.
- Goldstein, K. (1948). *Language and language disorders*. New York: Grune & Stratton.
- González, J. J., & González, A. (2015). Valoración del envejecimiento a partir de la conectividad funcional cerebral estimada mediante medidas de sincronización electroencefalográficas. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, 5(1), 121-131.

- Huggings Jackson, J. (1866). Notes on the physiology and pathology of language. *Med Times Gazette*, 1, 600.
- Lashley, K. (1929). *Brain mechanisms and intelligence*. Chicago: Chicago University Press.
- León Carrión, J. (2002). Redes neuronales artificiales y la teoría neuropsicológica de Luria. *Revista Española de Neuropsicología*, 4 (2-3), 168-178.
- Leontiev, A. N. (1993). *Actividad, conciencia y personalidad*. Ciudad de México: Cartago de México.
- Lopes Da Silva, F. H. (2011). Neurocognitive Processes and the EEG/MEG. En D. L. Schomer, y F. H. Lopes da Silva, *Niedermeyer's Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields* (Sexta ed., págs. 1083-1112). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Ludwig, D. (2012). Language and human nature: Kurt Goldstein's neurolinguistic foundation of a holistic philosophy. *Journal of The History of The Behavioral Sciences*, 48(1), 40-54. doi:10.1002/jhbs.21517.
- Luria, A.R. (1948). *Rehabilitación de funciones después de heridas de guerra*. Moscú, Academia de Ciencias.
- Luria, A. R. (1964). Factors and forms of Aphasia. En A. V. de Reuck, & M. O'Connor (Ed.), *Ciba Foundation Symposium - Disorders of Language*. Chichester, Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd.
- Luria, A. R. (1974). *Cerebro y Lenguaje. La afasia traumática: Síndrome, exploración y tratamiento*. Barcelona: Fontanella.

- Luria, A. R., & Haigh, B. (1978). *The working brain: an introduction to neuropsychology*. London : Allen Lane ; Harmondsworth : Penguin, 1978
- Luria, A. R. (1980). *Fundamentos de Neurolingüística*. Barcelona: Toray-Mason, S.A.
- Luria, A. R. (1986). *Las funciones corticales superiores del hombre*. México: Fontamara.
- Marslen-Wilson WD, Tyler LK. (2007) Morphology, language and the brain: the decompositional substrate for language comprehension. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 362(1481):823- 36.
- Matínez, J. (2008). *Electroencefalografía clínica básica*. Barcelona: Viguera Editores.
- Martínez, M. y Trout, G. (2006). Conceptos básicos de Electroencefalografía. *Revista de la facultad de ciencias de la salud*. 3 (1). 18-23.
- Okada, R., Okuda, T., Nakano, N., Nishimatsu, K., Fukushima, H., Onoda, M., & Kato, A. (2013). *Brain areas associated with sentence processing: A functional MRI study and a lesion study*. *Journal Of Neurolinguistics*, 26470-478.
- Onton, J., Delorme, A., & Makeig, S. (2005). Frontal midline EEG dynamics during working memory. *Neuroimage*, 27(2), 341-356.
- Postman-Caucheteux, W. A., Birn, R. M., Pursley, R. H., Butman, J. A., Solomon, J. M., Picchioni, D., ... & Braun, A. R. (2010). Single-trial fMRI shows contralesional activity linked to overt naming errors in chronic aphasic patients. *Journal of cognitive neuroscience*, 22(6), 1299-1318.
- Price, C. J., & Crinion, J. (2005). The latest on functional imaging studies of aphasic stroke. *Current opinion in neurology*, 18(4), 429-434.

- Prins, R., & Bastiaanse, R. (2006). History of aphasia. The early history of aphasiology: From the Egyptian surgeons (c.1700 BC) to Broca (1861). *Aphasiology*, 20(8), 762-791.
- Proal, E., Álvarez-Segura, M., de la Iglesia-Vayá, M., Martí-Bonmatí, L., & Castellanos, F. X. (2011). Actividad funcional cerebral en estado de reposo: redes en conexión. *Revista de neurología*, 52(0 1), S3.
- Proal, E., De la Iglesia Vaya, M. y Castellanos, F. (2013). Actividad Espontánea del Cerebro: Bases de la conectividad funcional. En D. Redolar. (1era Ed.), *Neurociencia cognitiva* (143-148). España: Editorial Panamericana.
- Quintanar, L. y Solovieva, Yu. (2013). Evaluación Neuropsicológica Breve para adultos. México: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Quintanar, L., Solovieva, Yu. y León-Carrión, J. (2011). Evaluación Clínico Neuropsicológica de la Afasia Puebla-Sevilla. México: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Raghavachari, S., Kahana, M. J., Rizzuto, D. S., Caplan, J. B., Kirschen, M. P., Bourgeois, B., y Lisman, J. E. (2001). Gating of human theta oscillations by a working memory task. *Journal of Neuroscience*, 21(9), 3175-3183.
- Ramírez Alvarado, G., y Téllez Alanis, B. (2016). Epidemiología de la enfermedad vascular cerebral en México: Ausencia de registro de las secuelas cognitivas. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 17(2), 59-69.
- Raymer, A. M., Beeson, P., Holland, A., Kendall, D., Maher, L. M., Martin, N., Gonzalez Rothi, L. J. (2008). Translational Research in Aphasia: From Neuroscience

to Neurorehabilitation. *Journal of Speech, Language, And Hearing Research*, S259-S275.

- Rijntjes, M. (2006). Mechanisms of recovery in stroke patients with hemiparesis or aphasia: new insights, old questions and the meaning of therapies. *Current Opinion in Neurology*, 19(1), 76-83.
- Rogríguez, V. (2009). *Definición y breve historia de la Neuropsicología* (Doctoral dissertation, Tesis maestría). Facultad de estudios superiores Zaragoza. UNAM.
- Ropper, A. H., y Brown, R. H. (2005). *Principles of neurology*. Estados Unidos: McGraw Hill.
- Rutar Gorišek, V., Zupanc Isoski, V., Belič, A., Manouilidou, C., Koritnik, B., Bon, J. y Zidar, J. (2016). Beyond aphasia: Altered EEG connectivity in Broca's patients during working memory task. *Brain And Language*, 16310-21.
- Seghier, M.L., Zeidman, P., Neufeld, N.H., Leff, A.P., and Price, C.J. (2010). Identifying abnormal connectivity in patients using dynamic causal modeling of fMRI responses. *Front. Syst. Neurosci.* 4:142. doi:10.3389/fnsys.2010.00142
- Shallice, T. (1988). Introducing cognitive neuropsychology. En Shallice, T. From neuropsychology to mental structure. (pp. 3-40) Cambridge University Press.
- Smirnov, A. A., Rubinstein, S. L., Leontiev, A. N., & Tieplov, B. M. (1960). *Psicología*. México: Grijalbo.
- Spironelli Chiara, Manfredi Mirella & Angrilli Alessandro (2013). Beta EEG band: A measure of functional brain damage and language reorganization in aphasic patients after recovery. *Cortex*, 2650-2660.

- Van den Heuvel, P. y HulshoffPol, H. (2011). Exploración de la red cerebral: una revisión de la conectividad funcional en la rmf en estado de reposo. *Psiquiatría biológica*. 18(1). 28-41.
- Vigotsky, L. S. (1995). Obras escogidas. Tomo III. Madrid: Visor.
- Winhuisen, L., Thiel, A., Schumacher, B., Kessler, J., Rudolf, J., Haupt, W. F., & Heiss, W. D. (2005). Role of the contralateral inferior frontal gyrus in recovery of language function in poststroke aphasia: a combined repetitive transcranial magnetic stimulation and positron emission tomography study. *Stroke*, 36(8), 1759-1763.
- Willmes, K. (1998). Clínic and Experimental Methods in Neurolinguistic. In Stemmer, B; Whitaker, H. A. *Handbook of Neurolinguistic*. San Diego: Academic press.
- World Medical Association. Declaration of Helsinki. (2013). Ethical principles for medical research involving human subjects.
- Xomskaya, E. (2002). El problema de los factores en neuropsicología. *Revista Española de Neuropsicología*, 4(2-3), 29-47.
- Zhu, D., Chang, J., Freeman, S., Tan, Z., Xiao, J., Gao, Y., & Kong, J. (2014). Changes of functional connectivity in the left frontoparietal network following aphasic stroke. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8, 167.

9. Anexos

- **Formato de Consentimiento Informado**



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Psicología

Maestría en Diagnóstico y Rehabilitación Neuropsicológica



PRESENTE

A través de este medio yo _____
manifiesto mi consentimiento para participar en la investigación **“Conectividad funcional durante la comprensión de oraciones comparativas, temporales y espaciales en pacientes con daño cerebral”**.

Declaro que se me ha informado en lo que consiste el estudio y estoy enterado que se me realizará un registro encefalográfico puramente experimental como objetivo de dicha investigación, además de una evaluación neuropsicológica coordinada por la Maestría en Diagnóstico y Rehabilitación Neuropsicológica adscrita a la BUAP.

Se me ha informado que todo material obtenido de esta investigación será manejado con confidencialidad. He tenido oportunidad de realizar preguntas y se me han respondido satisfactoriamente.

ATENTAMENTE

Nombre: _____

Firma: _____

H. Puebla de Zaragoza, a ___ de _____ de ____

Códigos de Matlab

- **EEG2MAT.m**

```
%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%  
%% EEG2MAT.m  
function [header,EEG]=EEG2MAT(eegfile,seconds_to_read,eegfile2)  
% Codigo para importar archivos EEG en MATLAB.  
% El programa recibe el nombre del archivo data.eeg.  
% The program recupera la razon de muestreo, la informaci?n de los  
canales  
  
% Los datos EEG estan almacenados en binario (Enteros cortos de 2 Bytes)  
% con canales intercalados  
% Informaci?n del paciente y protocolo almacenada en la variable header  
% El codigo carga los datos del archivo y carga seconds_to_read puntos  
por canal,  
% (default 8000 segundos) y salva los datos en la variable EEG y en  
% archivos secuenciales .mat  
%ejemplo de llamado:  
%[header,EEG]=EEG2MAT('data.eeg',8000)  
%[header,EEG]=EEG2MAT();  
  
if exist('seconds_to_read','var') == 0  
    seconds_to_read=80000;  
end  
  
if exist('eegfile','var') == 0  
    eegfile='data.eeg';  
end  
  
%  
%  
[a1,eegname,ext]=fileparts(eegfile);  
if isempty(ext) == 1  
    ext='.eeg';  
    eegfile=[eegname ext];  
end  
if exist(eegfile,'file') == 0  
    disp('File not found')  
    return  
end  
  
fid=fopen(eegfile);  
fseek(fid,-4,1);  
offset_bytes=fread(fid,1,'int32');  
samples=offset_bytes/2;  
frewind(fid);  
% Header information
```

```

fseek(fid,offset_bytes,0);
H=fread(fid);
header=setstr(H');

% Find sample rate
l=findstr(header,'Rate =');
sample_rate=str2num(header(l+6:l+9));
% Find Number of channels
l=findstr(header,'NchanFile =');
nchan=str2num(header(l+11:l+14));
%nchan=32;
samples_per_chan=samples/nchan;
load_size=seconds_to_read*sample_rate;
if load_size < samples_per_chan
    nloads=floor(samples_per_chan/load_size);
    nlast=mod(samples_per_chan,load_size);
else
    nloads=1;
    nlast=0;
    load_size=samples_per_chan;
end
disp([eegfile,' is processed, ', num2str(nchan),' Channels,
',num2str(samples_per_chan),' samples per channel, '...
'sample rate: ', num2str(sample_rate),' Hz' ])
fseek(fid,-0,-1);
for nr=1:nloads
    EEG=fread(fid,[nchan,load_size],'int16');
    matfile=[eegname,num2str(nr)];
    save(matfile,'EEG');
    disp(['Saved ',num2str(load_size),' samples in MATLAB file: ',
matfile])
end
%Read last record if a minute or more is left
%if nlast > 0

if nlast > 0
    EEG=zeros(nchan,nlast);
    EEG=fread(fid,[nchan,nlast],'int16');
    nleft=load_size-nlast;
    matfile=[eegname,num2str(nr+1)];
    save(matfile,'EEG');
    disp(['Saved ',num2str(nlast),' samples in MATLAB file: ', matfile])
end
fclose(fid);

if exist('eegfile2','var') == 1
    [Index,C2]=EEG2MAT_SPARSE(eegfile2);
    EEG=EEG(:,Index);
    save data1.txt EEG -ascii;
else
    openvar('data1.mat');
    save data1.txt EEG -ascii;
end

```

- **Respuestas para el procesamiento de cada oración**

```
%Canales de los electrodos. Constantes
Fp1=1;
Fp2=2;
F3=3;
F4=4;
C3=5;
C4=6;
A1=7;
A2=8;
P3=9;
P4=10;
O1=11;
O2=12;
F7=13;
F8=14;
T3=15;
T4=16;
T5=17;
T6=18;
FZ=19;
CZ=20;
PZ=21;
OZ=22;
PG1=23;
PG2=24;
EKG=25;

Fs=250; % Frecuencia de muestreo. Constante

%Frecuencias de corte para cada banda
thetai=4;
thetaf=7;
alphai=8;
alphaf=12;
betai=13;
betaf=18;
deltai=0.5;
deltaf=3.5;

pregunta=0;
%Copiar tiempos del archivo de excel

% Copiar y pegar las columnas de inicio de pregunta o respuesta

mi=250*pregunta(:,1); % indicie inicial de la muestra
mf=250*pregunta(:,2); % indicie final de la muestra

ref=[7,8,7,8,7,8,7,8,7,8,7,8,7,8,7,8,7,8,7]; %referencias para cada
electrodo del EEG
for j=1:21 %indice para ir de canal en canal
```

```

for i=1:length(mf) % indicie para para cada pregunta
[pxx(:,i),f(:,i)]=pwelch(EEG(j,mi(i):mf(i))-
EEG(ref(j),mi(i):mf(i)),250,32,250,250); %Calculo del espectro de
potencia
A_theta(i,j)=sum(pxx((find(f>thetai,1):(find(f>thetaf,1)),i)); %Calculo
del area de la banda theta
A_alpha(i,j)=sum(pxx((find(f>alphai,1):(find(f>alphaf,1)),i)); %Calculo
del area de la banda alpha
A_beta(i,j)=sum(pxx((find(f>betai,1):(find(f>betaf,1)),i)); %Calculo
del area de la banda beta
A_delta(i,j)=sum(pxx((find(f>deltai,1):(find(f>detaf,1)),i)); %Calculo
del area de la banda gamma
end
end

```

- **Análisis de ojos cerrados**

```

%Rutina para extraer las bandas de potencia por bloque de un archivo EEG
%filtrado obtenido con Nicolet (22 canales monopolares, 250 hz de
frecuencia de muestreo)

```

```

%Canales de los electrodos. Constantes
Fp1=1; Fp2=2; F3=3; F4=4; C3=5; C4=6;% A1=7;A2=8;
P3=9; P4=10; O1=11; O2=12; F7=13; F8=14; T3=15;
T4=16; T5=17; T6=18; FZ=19; CZ=20; PZ=21; OZ=22;
PG1=23; PG2=24; EKG=25;

```

```

Fs=250; % Frecuencia de muestreo. Constante

```

```

%Frecuencias de corte para cada banda
deltai=0.5; detaf=3.5;
thetai=4; thetaf=7;
alphai=8; alphaf=12;
betai=13; betaf=18;
gammai=30; gammaf=55;

```

```

%Referencia para cada electrodo
%ref=[7,8,7,8,7,8,7,8,7,8,7,8,7,8,7,8,7,8,7,8,7,8];
bloque = 5; %duracion del bloque
nbloques = floor((length(EEG)/250)/bloque);

```

```

for j=1:21 %indice para cada canal
for i=1:nbloques % indicie para para cada pregunta

```

```

[pxx(:,i),f(:,i)]=pwelch(EEG(j,(Fs*bloque*(i-
1)+1):(Fs*bloque*i)),[],[],[],Fs); %Calculo del espectro de potencia
A_delta(i,j)=sum(pxx((find(f>deltai,1):(find(f>detaf,1)),i));
A_theta(i,j)=sum(pxx((find(f>thetai,1):(find(f>thetaf,1)),i)); %Calculo
del area de la banda theta
A_alpha(i,j)=sum(pxx((find(f>alphai,1):(find(f>alphaf,1)),i)); %Calculo
del area de la banda alpha
A_beta(i,j)=sum(pxx((find(f>betai,1):(find(f>betaf,1)),i)); %Calculo
del area de la banda beta

```

```
A_gamma(i,j)=sum(pxx((find(f>gammai,1):(find(f>gammaf,1)),i)); %Calculo
del area de la banda gamma
end
end
```

```
mean_delta=mean(A_delta);
std_delta=std(A_delta);
mean_theta=mean(A_theta);
mean_alpha=mean(A_alpha);
mean_beta=mean(A_beta);
mean_gamma=mean(A_gamma);
```

- **Obtención de mapas**

```
function f = band_map(band)
%para los analisis de angel eliminamos el canal OZ, es decir las matrices
%de electrodos van del 1 al 19
coord=[-27,83;27,83;-48,59;48,59;-63,0;63,0;-48,-59;48,-59;-27,-83;27,-
83;-71,51;71,51;-87,0;87,0;-71,-51;71,-51;0,63;0,0;0,-87];
band_norm=band/max(max(band));

if true
%%vq = TriScatteredInterp(coord(:,1),coord(:,2),band);
vq = griddata(coord(:,1),coord(:,2),band_norm,[-90:0.5:90],[-
90:0.5:90]','natural');
end

if true
contourf(vq)
axis equal
end
end
```