

HABLA IMAGINADA Y SEÑALES EEG EN LA DIMENSIÓN DIC

**Efecto del Habla Imaginada de Vocales y el Estilo Cognitivo en la Dimensión DIC sobre los
Potenciales EEG del Hemisferio Izquierdo**

Jhon Freddy Sarmiento Vela

Universidad Pedagógica Nacional

Notas del Autor

Jhon Freddy Sarmiento Vela: <https://orcid.org/0000-0001-9791-8173>

Este proyecto ha sido desarrollado en colaboración con el grupo de investigación COGNITEK y el Laboratorio de Robótica Cognitiva perteneciente al Departamento de Tecnología de la Universidad Pedagógica Nacional.

La correspondencia relacionada con esta Tesis debe ser dirigida a Jhon Freddy Sarmiento Vela, Departamento de Tecnología de la Universidad Pedagógica Nacional Calle 72 No 11-86 Bogotá.

Contacto: jfsarmientov@pedagogica.edu.co

HABLA IMAGINADA DE VOCALES Y SEÑALES EEG EN LA DIMENSIÓN DIC

Efecto del Habla Imaginada de Vocales y el Estilo Cognitivo en la Dimensión DIC sobre los

Potenciales EEG del Hemisferio Izquierdo

Jhon Freddy Sarmiento Vela

Director

Dr. VICTOR JULIO QUINTERO SUAREZ

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad De Ciencia Y Tecnología

Maestría En Tecnologías De La Información Aplicadas a la Educación MTIAE

Bogotá D.C.

15 de diciembre de 2021

HABLA IMAGINADA DE VOCALES Y SEÑALES EEG EN LA DIMENSIÓN DIC

Derechos de Autor

El gestor de la investigación declara que el presente trabajo es original y la autoría es del mismo; en la medida que se ha requerido de investigaciones de otros autores se han dado los respectivos créditos. (Artículo 42, párrafo 2, del Acuerdo 031 del 4 de diciembre de 2007 del Consejo Superior de la Universidad Pedagógica Nacional)

Este trabajo de grado se encuentra bajo una Licencia *Creative Commons* de Reconocimiento – No comercial – Compartir igual, por lo que puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros si se muestra en los créditos. No se puede obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

HABLA IMAGINADA DE VOCALES Y SEÑALES EEG EN LA DIMENSIÓN DIC

Dedicatoria

Dedico especialmente este trabajo de tesis a a mi madre Edelvina Vela por su complicidad, compañía y motivación. A mi hermano Luis Carlos Sarmiento por su credibilidad y constante guía con lo cuál he llegado a la consolidación del presente trabajo y en general a mi familia quienes me inspiran a conseguir todas las metas para seguir concretando sueños de manera incondicional durante mi vida entera.

Gracias padre por tu legado, el estudio es para valientes.

Jhon Freddy Sarmiento Vela

HABLA IMAGINADA DE VOCALES Y SEÑALES EEG EN LA DIMENSIÓN DIC

Agradecimientos

En primera instancia agradezco al director de la presente tesis Doctor Victor Quintero Suárez por sus importantes indicaciones, así como el acompañamiento y asesoría siempre oportuna y precisa. De igual forma, agradezco a la Maestría en Tecnologías de la Información Aplicadas a la Educación MTIAE de la Universidad Pedagógica Nacional por facilitarme las condiciones para desarrollar las habilidades y competencias investigativas que me han permitido cumplir con tan importante meta. Agradezco a mi familia por su constante apoyo y especialmente a mi hermano Luis Carlos Sarmiento por su guía incondicional y contribuciones especialmente en la aplicación del algoritmo APIT-MEMD y su interpretación, De igual forma agradezco a la Universidad Antonio Nariño sede Popayán y sus programas de Ingeniería Biomédica y Medicina Veterinaria por hacer parte como voluntarios para la adquisición de datos de señales EEG. Finalmente, agradezco a la coordinación del laboratorio de Robótica Cognitiva de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Pedagógica Nacional por su apoyo con la modificación del dispositivo EMOTIV para los requerimientos de investigación. Así como las directrices necesarias para diseñar el protocolo de adquisición de señales EEG y su sistema de sincronización. Sin todas estas contribuciones no hubiese podido llegar con éxito a finalizar este importante logro.

Mil gracias a todas y todos!

Jhon Freddy Sarmiento Vela

HABLA IMAGINADA DE VOCALES Y SEÑALES EEG EN LA DIMENSIÓN DIC

Listado de Contenidos

Introducción.....	11
Marco General	15
Necesidad de la Investigación.....	15
Proposito de la Investigación.....	24
Preguntas de Investigación.....	25
Objetivos.....	25
Objetivo general	25
Objetivos específicos.....	25
Aspectos Metodológicos.....	26
Alcances y Limitaciones de la Investigación.....	28
Los alcances	28
Las limitaciones.....	29
Marco Conceptual y Antecedentes.....	31
Potencial Biotecnológico de las Señales EEG.....	31
Imagineria del Habla.....	42
Procesamiento anatómico-funcional del imaginario del habla.....	43
Representaciones sensoriales del habla “via ventral”	46
Representaciones conceptuales/semánticas HI.....	48
Representacion sensorial/motora “via dorsal HI”	50
Reconocimiento de Señales EEG e Imagineria de Vocales.....	53
Imaginario del habla de vocales y Machine Learning.....	58
Imaginario del habla de vocales y ECoG.....	63
Imaginario del habla de vocales y Aprendizaje Profundo.....	67

HABLA IMAGINADA DE VOCALES Y SEÑALES EEG EN LA DIMENSIÓN DIC

Desafios en el reconocimiento del imaginario de vocales con señales EEG.....	68
Estilo Cognitivo DIC y Señales EEG.....	71
Localización cerebral de los procesos involucrados en la dimensión DIC.....	73
Evaluación de la relación entre dependencia-independencia de campo y hemisfericidad.....	75
Evaluación de la relación entre Dimensipon DIC y diferenciación hemisférica.....	77
Desafios para el reconocimiento de estilos cognitivos en la dimensión DIC con señales EEG.....	82
Procesamiento de Señales EEG con APIT-MEMD.....	84
Análisis Mixto de Medidas Repetidas Multivariante.....	88
Metodología.....	93
Hipótesis.....	96
Diseño de la Investigación y Variables de Estudio.....	97
Variables Dependientes (factores intrasujetos).....	98
Variable Independiente (factores intersujetos).....	99
Población y Muestra.....	99
Prueba EFT para Estilo Cognitivo en la Dimensión DIC.....	100
Ambiente de Adquisición de Señales EEG.....	102
Instrumentación.....	104
Protocolo de Adquisición de Señales EEG.....	105
Procesamiento EEG de Imaginaria de Vocales y Análisis Mixto de Medidas Repetidas.....	107
Análisis estadístico de los IMF.....	108
Resultados y Análisis de Resultados.....	109
Aplicación de APIT-MEMD y Obtención de IMFs.....	110
Prueba de Estilos Cognitivos EFT.....	110
Reporte de IMFs con Diferencias Significativas.....	114
Reporte de resultados IMF 1 /a/, /o/.....	114
Reporte de resultados IMF 4 /a/, /u/.....	119

HABLA IMAGINADA DE VOCALES Y SEÑALES EEG EN LA DIMENSIÓN DIC

Reporte de resultados IMF 8 /a/, /o/.....	124
Reporte de resultados IMF 8 /a/, /u/.....	129
Discusión de Resultados.....	136
Correlaciones entre Vocales, Electrodo y Estilos Cognitivos.....	137
Diferencias Significativas entre Vocales.....	142
Interacciones Dobles Significativas.....	144
Evaluación de Hipotesis Propuestas.....	145
Conclusiones.....	147
Recomendaciones y Proyectos Futuros.....	150
Referencias.....	153
Apendices.....	167
Apendice 1. Representaciones de áreas de broadman y áreas funcionales cerebrales.....	168
Apendice 2. Tablas antecedentes reconocimiento de señales EEG e imaginaria de vocales.....	171
Apendice 3. Tablas antecedentes relación estilo cognitivo y señales EEG.....	176
Apendice 4. Diseños factoriales de experimentación y prueba de hipótesis.....	181
Apendice 5: test de figuras enmascaradas EFT (versión Lopez et al., 2019).....	185
Apendice 6. Descripción de la base de datos de señales EEG privada.....	197
Apendice 7. Reporte de resultados obtenidos de IMFs con diferencias significativas.....	200

HABLA IMAGINADA DE VOCALES Y SEÑALES EEG EN LA DIMENSIÓN DIC

Lista de Figuras

Figura 1	32
Figura 2	38
Figura 3	40
Figura 4	45
Figura 5	48
Figura 6	52
Figura 7	56
Figura 8.	66
Figura 9	95
Figura 10.	101
Figura 11	101
Figura 12	102
Figura 13	104
Figura 14	105
Figura 15	106
Figura 16	111
Figura 17	113
Figura 18	114
Figura 19.	118
Figura 20	118
Figura 21	122
Figura 22	123
Figura 23	124
Figura 24	127
Figura 25	128
Figura 26	129
Figura 27	133
Figura 28	134
Figura 29.....	134

HABLA IMAGINADA DE VOCALES Y SEÑALES EEG EN LA DIMENSIÓN DIC

Lista de Tablas

Tabla 1.....	35
Tabla 2.....	99
Tabla 3.....	112
Tabla 4.....	113
Tabla 5.....	115
Tabla 6.....	116
Tabla 7.....	120
Tabla 8.....	120
Tabla 9.....	125
Tabla 10.....	125
Tabla 11.....	130
Tabla 12.....	130

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

Introducción

Uno de los principales desafíos en el campo de la neurociencia se enmarca en el reconocimiento de las bases biológicas del aprendizaje. En la actualidad se cuenta con avances significativos en el estudio del comportamiento cognitivo, dados los crecientes desarrollos tecnológicos en el campo de la medicina, la ingeniería biomédica y la psicología con métodos de neuroimagen como Magnetoencefalografía (MEG), Tomografía por Emisión de Positrones (PET-SCAN), Resonancia Magnética funcional y estructural (fMRI), Espectroscopía Funcional del Infrarrojo Cercano (fNIRS) y Electroencefalografía (EEG) de forma cada vez menos invasiva y segura. Estos desarrollos han acercado a investigadores de líneas de investigación emergentes interdisciplinarias y transdisciplinarias a encontrar explicaciones del funcionamiento del cerebro que décadas atrás parecían inalcanzables. Su impacto a llevado tanto al reconocimiento de los procesos cognitivos de alto nivel como el lenguaje, como al desarrollo de innovadoras tecnologías asistivas que apuntan a recuperar la movilidad en personas con serias condiciones motoras, diagnóstico preclínico de enfermedades neurodegenerativas, síndromes o trastornos psicológicos e inclusive el reconocimiento de problemas de aprendizaje.

Actualmente, los avances en el tratamiento digital de información han permitido analizar dichos procesos de aprendizaje a través de la producción del habla, mediante Inteligencia Artificial (IA) y algoritmos de procesamiento de lenguaje natural (NLP), en base a la comprensión lingüística a nivel fonológico, morfológicos, sintáctico, semántico y de razonamiento propios de la comunicación humana. Este enfoque a producido innovaciones inclusive en el campo de la salud, al operativizar máquinas de percepción, clasificación, generación y comprensión de los códigos de comunicación y su intencionalidad interpretativa. Como resultado, se han generado innovaciones en la comunicación humano robot denominado sistemas interfaz cerebro computador BCI (del inglés *Brain Computer Interface*) aplicado por ejemplo a la rehabilitación cognitiva y/o motora a partir de la mediación del aprendizaje o la

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

asistencia a la movilidad en personas amputadas, con distrofia muscular u otras dificultades de la movilidad, empleando prótesis robóticas o sillas de ruedas en casos tan complicados como son la tetraplegia o cuadraplejía, entre otras.

Una de las alternativas de control para BCI ha sido el análisis de señales cerebrales emitidas de forma voluntaria también denominados potenciales evocados (PE), tales como el imaginario del habla a partir de señales electroencefalográficas (EEG) de tipo no invasivo, dada la identificación de variaciones en las señales emitidas resultado de la actividad en el cortex cerebral. Modelos explicativos de producción del habla como los propuestos por Hickok y Poeppel, (2000, 2004, 2012) y Giraud y Poeppel (2012), así como evidencias con métodos invasivos relacionados con la articulación encubierta de vocales con señales ECoG según Pei et al., (2011), Brumberg et al., (2011,2016) e Ikeda et al., (2014) han aportado explicaciones neurofisiológicas sobre la fuente y la forma en que se genera la percepción, imaginario y articulación encubierta del habla.

Adicional al análisis desde la fuente de potenciales evocados (PE), se han establecido a partir de trabajos reportados desde 1962 sobre lateralización, diferenciación, dominancia y preferencia hemisférica, originalmente propuesto por Witkin et al., (1962), relaciones entre la actividad EEG y los estilos cognitivos en humanos evidenciando en el hemisferio izquierdo (HI) durante el procesamiento del habla alteraciones en la señal que se pueden diferenciar de forma cualitativa empleando la prueba de figuras enmascaradas EFT (del inglés *Embedded Figures Test*) en personas con estilo cognitivo Dependientes e Independientes de Campo.

El grupo de investigación COGNITEK y la línea de investigación en robótica cognitiva se han planteado la hipótesis en que el reconocimiento de señales EEG, relacionada con el imaginario del habla de vocales, pueda reflejar variaciones diferenciales entre el estilo cognitivo dependiente (DC),

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

intermedio (IntC) e independiente de campo (IC) sobre el hemisferio izquierdo (HI); de tal forma que pueda medirse cuantitativamente variaciones diferenciales que validen al interior de los procesos cognitivos de producción del lenguaje la manifestación de los estilos cognitivos de forma diferencial. Por tanto, las bases psicolingüísticas de desarrollo de cada individuo, generarían potenciales diferenciales que podrían acabar en un sistema automatizado de identificación de estilos cognitivos con alto grado de precisión. Esto tendría implicaciones en el campo educativo incluyendo, desde el diseño de estrategias didácticas pertinentes de acuerdo al estilo cognitivo como la comprensión de las bases neuroanatómicas y funcionales del aprendizaje a través de las teorías del procesamiento del lenguaje.

La presente investigación por tanto, evalúa en hispanohablantes cognitivamente saludables el efecto de potenciales evocados producidos por el imaginario de vocales /a/e/i/o/u/ y sus combinaciones abiertas y cerradas en relación con el estilo cognitivo en la dimensión DIC (Dependencia e independencia de campo) sobre la señal EEG producida por 14 electrodos ubicados en el hemisferio izquierdo (HI) a partir de un sistema de procesamiento cuantitativo que incluye condiciones de adquisición de potenciales evocados controladas (atención y ruidos producidos por artefactos fisiológicos) e implementación de algoritmos no lineales de procesamiento en el dominio de la frecuencia relacionados con el PSD (del inglés *Power Spectral Density*) tales como funciones de modo intrínsecas IMF (del inglés *Intrinsic Mode Function*), dichas funciones se obtienen a partir de la descomposición en modo empírico multivariante intrínsecamente transformado de proyección adaptativa APIT-MEMD (del inglés *Adaptive-Projection Intrinsically-Transformed Multivariate Empirical Mode Decomposition*). El enfoque estadístico estima mediante análisis mixto de medidas repetidas de forma multivariante las correlaciones entre las variables de estudio, permitiendo la identificación del potencial bioindicador en la señal EEG correspondiente a la fuente analizada.

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

Los contenidos temáticos en la presente tesis se desarrollan así: en el capítulo 1 se presenta la necesidad de la investigación, propósitos, preguntas de investigación, objetivos, aspectos metodológicos, alcances y limitaciones. El capítulo 2 desarrolla el marco conceptual con evidencias que resaltan el potencial biotecnológico de las señales EEG, el procesamiento cognitivo de la imaginaria del habla, el reconocimiento de la imaginaria de vocales con señales EEG y la relación entre los estilos cognitivos en la dimensión DIC y las señales EEG, describiendo el algoritmo implementado en la presente tesis para el reconocimiento de patrones denominado APIT-MEMD junto con la técnica de estimación de significancia denominado análisis mixto de medidas repetidas multivariado. El capítulo 3 presenta la metodología estableciendo el diseño de la investigación y la forma en que se obtendrán y sistematizarán los datos para su respectivo análisis estadístico. El capítulo 4 reporta y analiza los resultados con diferencias significativas presentados en la señal EEG y su efecto sobre los electrodos en relación a la imaginaria de vocales y el estilo cognitivo en la dimensión DIC. El capítulo 5 discute en base a tres categorías de resultados la confirmación de las hipótesis propuestas. Finalmente el capítulo 6 presenta las conclusiones que dan cuenta de la validez y rigurosidad de los resultados, respondiendo a las preguntas de investigación y los objetivos del presente trabajo de tesis, incluyendo las proyecciones y trabajos futuros que darían continuidad a la investigación.

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

Marco General

Necesidad de la Investigación

En las últimas décadas se observa un interés creciente de investigadores de líneas emergentes interdisciplinarias y transdisciplinarias por sumarse al campo educativo para aportar al estudio, comprensión y explicación de las bases biológicas del proceso de aprendizaje, lo cual genera grandes desafíos y expectativas en el hallazgo de soluciones a problemas de aprendizaje que décadas atrás parecían inalcanzables, tal es el caso de la Inteligencia Artificial (IA); la ingeniería, las tecnologías innovadoras asistivas y la psicología cognitiva.

Desde la Inteligencia Artificial IA se potencian innovaciones dirigidas al procesamiento del lenguaje natural lo mismo que a producir y enseñar a robots a comunicarse con los seres humanos a través del empleo de procesos fonológicos, morfológico, sintácticos, semánticos y de razonamiento propios del lenguaje humano, lo mismo que a operativizar máquinas de percepción, clasificación, generación y comprensión de los códigos de comunicación y su intencionalidad interpretativa. Lo anterior en el campo de la educación está teniendo un auge acelerado que va desde la gestión de calidad al interior y entre instituciones educativas empleando inteligencia distribuida, la estructuración de cursos que fomentan la autoorganización y autorregulación con agentes inteligentes en procesos automatizados de evaluación.

Por otro lado, la IA propone la adaptación a entornos de enseñanza facilitado por tecnologías emergentes dirigidas al mejoramiento del aprendizaje global y personalizado mediado por la internet, empleando algoritmos basados en aprendizaje profundo, minería de datos o redes neuronales artificiales que pueden utilizar en un principio procesamiento de lenguaje natural NPL (del inglés *Natural Processing Language*) en procesos de educación en línea, educación virtual e-learning o b-learning con plataformas LMS (del inglés *Learning Management System*), o plataformas de procesamiento de

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

lenguaje natural de tipo *ChatBot* como es el caso de Google con *Dialogflow*, Amazon con *Lex*, IBM con *Watson*, entre otras.

A las anteriores aplicaciones se suma la generación de nuevo contenido de aprendizaje basado en guías de estudio personalizadas denominadas *Smart Content*, preguntas y respuestas en tiempo real, además del reconocimiento de voz en cualquier idioma, tutoría y supervisión automatizada del proceso de aprendizaje, gamificación de los contenidos de aprendizaje, filtros para consultas que faciliten recomendaciones o curación de contenidos y detección de plagio entre las más relevantes (Gelbukh, 2010).

Por tanto, la IA en la educación se enfoca por ahora en desarrollar herramientas de apoyo al aprendizaje y el uso de las mismas para comprender el aprendizaje en sí, tanto como la forma en que se desarrollará la práctica de enseñanza abriendo nuevas cuestiones como: ¿qué tipo de conocimiento enseñar y cuál es la forma en que se representa dicho conocimiento?, ¿cómo se puede facilitar el aprendizaje de forma individual?, de qué manera se debe dar la interacción entre docentes y estudiantes desde la pedagogía y la didáctica pertinentes a los diferentes contextos y cotidianidades en que se desarrolla la práctica educativa?, ¿cómo identificar conceptos y concepciones que faciliten determinar los errores de lógica en el contexto del procesamiento de la información?, o ¿cuál es la labor del docente como desarrollador de ambientes de aprendizaje mediado por IA?.

En relación con los avances de la ingeniería y su versatilidad mediada por IA, se están desarrollando actualmente dispositivos para obtener bioseñales del sistema nervioso central SNC y del sistema nervioso periférico SNP utilizando técnicas de procesamiento de señales digitales DSP (del inglés *Digital Signal Processing*); estas señales poseen características intrínsecas caracterizadas por ser no lineales, no estacionarias y de baja frecuencia, además son representativas de la actividad cerebral

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

debido a: procesos cognitivos de alto nivel y complejidad e integración durante el procesamiento de la información entre el córtex y neocórtex del cerebro humano (Sanei & Chambers, 2013; Rashid et al., 2020).

El procesamiento de las señales mencionadas ha generado la necesidad de desarrollar dispositivos tecnológicos orientados a medir y a obtener la actividad cerebral relacionada con la formación de imágenes cerebrales o neuroimágenes, tales imágenes se pueden obtener de forma no invasiva como es el caso de la Tomografía Computarizada (TC), Magnetoencefalografía (MEG), Tomografía por Emisión de Positrones (PET-SCAN), Resonancia Magnética (fMRI), Espectroscopía Funcional del Infrarrojo Cercano (fNIRS) y Electroencefalografía (EEG), o de forma invasiva como Electroencefalografía (EEG) (Rashid et al., 2020). La obtención de neuroimágenes de forma no invasiva plantea un reto a la ciencia y un desafío al campo de la ingeniería, por cuanto requiere seleccionar, adquirir, preprocesar, procesar y clasificar de forma automática patrones diferenciables y representativos del comportamiento cognitivo objeto de estudio. Su identificación supondría un avance significativo en la comprensión de las bases fisiológicas del aprendizaje; en este sentido, se han alcanzado logros considerables en el campo de las ciencias cognitivas, el análisis de la actividad neuronal mediante métodos computacionales basados en IA con señales EEG ha demostrado su potencial en el reconocimiento de patrones asociados con enfermedades, síndromes o alteraciones cognitivas de forma no invasiva.

De esta forma, la ingeniería que utiliza IA se proyecta en el campo de la educación no solo con el desarrollo de tutores inteligentes embebidos en computadores o teléfonos celulares, sino en robots colaborativos que acompañan la experiencia de aprendizaje del estudiante, especialmente en la unidad más básica de educación, la educación infantil debido al tipo de conocimiento de base que se construye durante su desarrollo cognitivo (Holmes, 2019; Márquez, 2020). Es así como los robots sociales que

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

apoyan el aprendizaje junto con los docentes, puede ir complejizando la enseñanza de acuerdo al tipo de contenidos y relaciones conceptuales dirigidas hacia el desarrollo de habilidades cognitivas como la resolución de problemas, memoria, percepción, atención, lenguaje, emoción y/o procesamiento de información entre otros, dirigidos a implementar ambientes de aprendizaje apropiados a las necesidades de cada contexto educativo (Holmes, 2019).

Con respecto a las tecnologías innovadoras asistivas, se han desarrollado aplicaciones para el control de dispositivos tecnológicos que identifican procesos en los que se involucra el procesamiento del lenguaje humano manifestado en variaciones de potenciales que se adquieren al utilizar métodos no invasivos como resultado de la actividad en el cortex cerebral. Modelos explicativos como los propuestos por Hickok y Poeppel (2000, 2004, 2012), así como evidencias con métodos invasivos relacionados con la articulación encubierta de vocales con señales ECoG según Pei et al., (2011), Brumberg et al., (2011,2016) e Ikeda et al., (2014), han aportado explicaciones con alto nivel argumentativo sobre la forma en que a nivel neurofisiológico se genera la percepción, imaginario y articulación encubierta del habla.

Es así como, las señales EEG generadas por el habla imaginada, ya sea por articulación encubierta, habla silenciosa o evocación del habla, se han implementado de manera promisoría en el campo de la rehabilitación cognitiva el control de dispositivos basados en IA con pacientes que presentan condiciones motoras disminuidas o en la comunicación aumentativa (Moffatt, Pourshahid & Baecker, 2017). En dichas aplicaciones se remarca el potencial de los patrones de producción del habla y su eficiencia en el desarrollo de BCIs y el bajo gasto de energía cognitiva en el entrenamiento, lo que repercute en una disminución tanto de la fatiga cognitiva como muscular (Drubach, Benarroch & Mateen, 2007).

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

Los avances de la IA aplicados al reconocimiento automatizado del procesamiento de señales del imaginario del habla aún tiene un amplio camino hacia el reconocimiento de la complejidad en que se da en los seres humanos, Por ahora se requiere caracterizar con mayor eficiencia sus propiedades espectrales, la forma en que se realiza la adquisición de las señales sin influencia de la atención (Qureshi et al., 2017). El uso de métodos no invasivos y de fácil portabilidad con la precisión que tendrían los hallazgos realizados con métodos invasivos como la ECoG, así como el efecto del ruido generado por artefactos del ambiente o del propio sistema aislando la señal de estudio desde la fuente entre otras (Brumberg et al., 2016; Ikeda et al., 2014; Pawar & Dhage, 2020).

En cuanto a la psicología cognitiva, se estudia la importancia de tener en cuenta algunas características diferenciales de los sujetos cuando procesan información, lo cual puede estar asociado con el estilo cognitivo y, en esta medida, determinar patrones de comportamiento de carácter psicológico con procesamiento de información de base neurofisiológica (Evans, Richardson & Waring, 2013; Kozhevnikov, 2007). En este sentido, el uso de EEG para medir diferentes variables cognitivas es prometedor desde la perspectiva de la investigación neurobiológica al poner en evidencia procesos asociados al aprendizaje y los estilos cognitivos, como es el caso de la dimensión Dependencia/Independencia de campo (DIC), propuesta inicialmente por Witkin et al., (1977) quienes sugieren diferencias entre los sujetos con tendencia a un procesamiento de tipo analítico, independiente de factores contextuales (sujetos independientes de campo -IC), y aquellos con tendencia a un procesamiento de tipo global, muy influenciado por el contexto (sujetos dependientes de campo -DC-).

Mediante el uso de EEG, se determinó al emplear estímulos evocados auditivos y somatosensoriales en sujetos IC, una menor coherencia entre los hemisferios cerebrales, sugiriendo especialización interhemisférica, manifestada a través de variaciones en amplitud y latencia en la onda

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

alfa sobre el hemisferio izquierdo, a diferencia de los sujetos DC quienes presentan sincronía interhemisférica (Oltman, Semple & Goldstein, 1979; Zoccolotti, 1982). sugiriendo una mayor actividad neuronal focalizada para el procesamiento de respuesta ejecutivas e inhibitorias en sujetos IC dada su habilidad para filtrar información irrelevante en pruebas de figuras enmascaradas EFT (del inglés *Embedded Figures Test*), (Imanaka, Kakigi & Nakata, 2017; Jia, Zhang & Li, 2014).

El comportamiento alrededor de la activación de cerebro según los resultados obtenidos en diferentes investigaciones sugiere dos tipos de explicación según Kozhevnikov (2007): por un lado, la variabilidad en la señal EEG de sujetos en la dimensión DIC se da entre hemisferios, por otro, la lateralización hemisférica de funciones específicas explica dicha variabilidad. En este sentido, se han desarrollado estudios centrados en localizar áreas específicas del cerebro asociadas con la dimensión DIC. Investigaciones enfocadas en el análisis de hemisfericidad dado el potencial uso preferencial de los procesos asociados con uno u otro hemisferio cerebral. Así como, investigaciones asociadas a la diferenciación hemisférica asociada tanto a la dominancia periférica como lateralización de funciones asociadas a uno de sus hemisferios cerebrales.

En la mayoría de los casos, se espera encontrar una relación entre la actividad cerebral y la tarea cognitiva en sujetos con diferencias comportamentales ambivalentes, siendo precisamente la variabilidad de tareas cognitivas y las diferencias individuales el gran desafío en la determinación de métodos de medida que permitan aumentar la precisión en su reconocimiento y diferenciación. Los más destacados han evolucionado desde la prueba de la habitación giratoria, o el RRT (del inglés *Rotating Room Test*) propuesto por Asch y Witkin (1948), el Test de marco y varilla RFT (del inglés *Rod and Frame Test*) propuesto por Witkin et al., (1962) y su adaptación denominada Test de Silla inclinable para sala inclinable TRTC (del Inglés *Tilting Room Tilting Chair*), hasta la prueba de Figuras Enmascaradas EFT (del inglés *Embedded Figures Test*) diseñado por Witkin (1971), así como la aplicación grupal en adultos

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

GEFT (del inglés *Group Embedded Figures Test*) que consiste en 18 figuras complejas separadas en dos series de formas equivalentes presentadas con un grado de dificultad progresivo con límite de tiempo de cinco minutos en cada serie.

La prueba GEFT en papel según Vargas (2016) se ha referenciado como la más utilizada por investigadores en Colombia y la Universidad Pedagógica Nacional, según Hederich (2007) con una confiabilidad en el alfa de Cronbach entre 0.91 y 0.97. López et al., (2014) afirman que el instrumento mide la velocidad de reestructuración perceptual del sujeto, como indicador de habilidad de procesamiento analítico propio de desenmascarado de figuras en sujetos IC, tarea que se dificulta en sujetos DC debido a que las soluciones de este tipo de tareas requieren de aislamiento de elementos inmersos en una totalidad perceptiva o simbólica.

Vargas (2016) realiza una investigación encaminada a la validación de la versión digital del test de figuras enmascaradas adaptado por el grupo de estilos cognitivos COGNITEK de la Universidad Pedagógica Nacional, el cual parte de la versión GEFT de Witkin (1961). Este trabajo se sustenta en las propiedades psicométricas de pruebas psicológicas como la teoría clásica del test TCT (del inglés *International Test Commission*), propuesta por Tornimbedi et al., (2004). Los resultados de la validación del instrumento CEFT empleó 104 sujetos entre 6 a 12 años en una investigación correlacional organizada en cuatro grupos, encontrando una fiabilidad del instrumento digital a partir del alfa de Cronbach de 0.967, que es ligeramente superior a la prueba en papel establecida por los autores entre 0.83 y 0.90 y con una alta correlación de Pearson de 0,936.

Es de reconocer la validez local del instrumento CEFT, sin embargo, no es posible generalizar, dadas las condiciones del contexto que podrían influenciar la variabilidad obtenida en el desempeño de los sujetos incluidos, además de las limitaciones en la comprensión procedimental durante el proceso de

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

entrenamiento, tanto como las condiciones de los sistemas computacionales que podrían ser variables intervinientes en el desempeño durante la realización de la prueba. Adicional, se ha encontrado dificultades psicométricas a la hora de validar grupos intermedios de campo IntC dado a que la prueba EFT tiende a favorecer a los extremos.

A pesar de los elementos de inferencia estadística sobre la relación “estilo cognitivo-logro de aprendizaje”, los resultados pueden sufrir un sesgo dada la interpretación del investigador a la hora de seleccionar los grupos de acuerdo a los percentiles. Dicho sesgo aún es un desafío en términos psicométricos dada la subjetividad en la separación de acuerdo a los umbrales que separarían a sujetos IC, IntC ó DC. Por lo tanto, se hace relevante incluir estudios neurofisiológicos sobre los estilos cognitivos que estimen correlaciones con tareas cognitivas estándar, cuyas implicaciones puedan acabar afirmando o desvirtuando el uso de la prueba EFT para categorizar la dimensión DIC a propósito de los avances en los estudios sobre procesamiento de la información no invasivos con señales electroencefalográficas EEG.

En contraste con los resultados obtenidos con señales EEG y su relación con los estilos cognitivos. El grupo de investigación CONGNITEK de la UPN afirma que es posible demostrar una correlación medible de forma no invasiva, entre las señales EEG generadas durante tareas de habla imaginada de vocales, silabas o palabras, inducida de forma exógena (potenciales evocados) o endógena (señales espontáneas o voluntarias no-motoras), reflejando variaciones diferenciales sobre el área motora suplementaria SMA (del inglés *supplementary motor area*) y el área del lenguaje (Broca y Wernicke) ubicadas en el hemisferio izquierdo (HI) del cerebro humano con los estilos cognitivos en la dimensión DIC (Bouchard & Chang, 2014; Roland & Friberg 1985; Wise et al., 1991; Creutzfeldt, Ojemann & Lettich, 1989).

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

La principal dificultad al estudiar este tipo de señales EEG radica en la baja resolución espacial, que además es atenuada por los diferentes artefactos que se superponen a la señal objetivo, requiriendo ser compensada con técnicas de análisis espacial a partir de medidas hemodinámicas (fMRI/PET) que, a su vez, presentan importantes limitaciones de tipo temporal. El efecto estadístico estima una correlación que puede no deberse al estímulo solicitado, tanto como a la dificultad de aislar el ruido a causa de artefactos del ambiente como del sistema, generando efectos que pueden ser atenuados al momento de establecer dichas correlaciones en análisis inter-sujetos e intra-sujetos.

La presente investigación plantea la posibilidad de realizar un análisis de estilos cognitivos y su efecto sobre las señales EEG durante el imaginario de vocales abiertas y cerradas al extraer el espectro de potencia PSD del dominio de la frecuencia (del inglés *Power Spectral Density*), empleando métodos de tratamiento de datos estructurados como la transformada de Hilbert-Huang HHT, propuesta por Huang (Huang et al., 1998) dada la naturaleza no lineal y no estacionaria de las señales EEG.

Adicional, El análisis con HHT por ser adaptativo, no requiere ninguna función a priori y puede ser dividido en descomposición por modos empíricos MEMD (del inglés *multivariate empirical mode decomposition*) junto con la aplicación de la transformada Hilbert. Con este método es posible obtener los EMD (del inglés *Empirical Mode Decomposition*), un conjunto de datos que puede ser descompuesto en un número finito de monocomponentes conocidos como funciones de modo intrínsecas IMF (del inglés *Intrinsic Mode Functions*), representados tanto en una función oscilatoria que modula la amplitud, fase y frecuencia como en las bases de la descomposición.

Por tanto, el PSD obtenido de la actividad cognitiva relacionada con el habla imaginada de vocales sobre el análisis multivariado del estilo cognitivo en una configuración de electrodos de baja densidad predeterminada entre el área de Broca y el área sensoriomotora del hemisferio cerebral

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

izquierdo (HI), puede ayudar no solo a relacionar de forma cuantitativa no invasiva, aspectos espectrales de las bioseñales comprometidas en el procesamiento del lenguaje, contribuir en la determinación de una relación con comportamientos tan complejos como el estilo cognitivo en la dimensión DIC y la distribución espacial en el hemisferio izquierdo, sino que contribuiría al diseño de interfaces BCI como al diagnóstico y monitoreo clínico y pre-clínico de enfermedades, trastornos, síndromes o alteraciones cognitivas del lenguaje, tanto como el diagnóstico del estilo cognitivo y por tanto el diseño de ambientes de enseñanza apropiados al contexto, favoreciendo la calidad educativa y el bienestar de las personas.

Propósito de la Investigación

La presente investigación tiene como propósito evaluar si un sistema de procesamiento de señales EEG basado en análisis de funciones de modo intrínsecas IMF (del inglés *Intrinsic Mode Functions*) obtenido mediante descomposición en modo empírico multivariante intrínsecamente transformado de proyección adaptativa APIT-MEMD (del inglés *adaptive-projection intrinsically transformed- multivariate empirical mode decomposition*) consigue estimar la relación entre el imaginario del habla de las vocales /a/, /e/, /i/, /o/, /u/ abiertas y cerradas, el estilo cognitivo para la dimensión DIC (Dependencia “DC”, Intermedio “IntC” e Independiente de campo “IC”) y el efecto espacial sobre la correspondiente señal emitida en una configuración de 14 electrodos distribuidos en el hemisferio izquierdo (HI), de tal forma que explique la variabilidad de la señal voluntaria no-motora EEG a partir del espectro de potencia PSD ponderado, extraído del dominio de la frecuencia mediante la transformada de Hilbert-Huang (HHT). La investigación se caracteriza por el control de variables que afectan la atención del sujeto durante la adquisición de las señales EEG como son el ruido del ambiente, luminosidad, adaptación de los electrodos sobre el hemisferio izquierdo, un sistema portátil de adquisición de señales EEG modificado EMOTIV y un sistema de sincronización de la tarea cognitiva que utiliza un marcador luminoso de tipo led, que indica el inicio y final de toda repetición del imaginario del

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

habla de cada vocal. Una vez los IMF son obtenidos se realiza un análisis mixto de medidas repetidas para estimar de forma multivariada las diferencias significativas que nos permitan responder a las siguientes preguntas de investigación:

Preguntas de Investigación

¿Existen diferencias significativas en la emisión de señales EEG voluntarias no-motora del habla imaginada de vocales abiertas y cerradas obtenidas del hemisferio izquierdo, entre tres grupos de estudiantes con diferente estilo cognitivo en la dimensión DIC?

¿Existe actividad diferencial durante la emisión de señales EEG del imaginario de vocales abiertas y cerradas registradas entre 14 electrodos ubicados en el hemisferio izquierdo?

Objetivos

Objetivo general

Evaluar si un sistema de adquisición y procesamiento de señales EEG basado en análisis de funciones de modo intrínsecas IMF obtenido mediante descomposición en modo empírico multivariante intrínsecamente transformado de proyección adaptativa APIT-MEMD, permite identificar de forma cuantitativa la actividad diferencial en el imaginario del habla de vocales abiertas y cerradas, tanto como su efecto sobre el estilo cognitivo en la dimensión DIC con estudiantes saludables hispanohablantes.

Objetivos específicos

1. Estimar el efecto de señales EEG voluntarias del habla imaginada de vocales *a/*, */e/*, */i/*, */o/*, */u/* abiertas y cerradas sobre el hemisferio izquierdo a partir de una configuración de 14 electrodos.

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

2. Estimar el efecto de las variaciones de señales EEG voluntarias del habla imaginada de vocales *a/ /e/ /i/ /o/ /u/* abiertas y cerradas sobre la dimensión Dependencia/Independencia de campo (DIC) a partir de una configuración de 14 electrodos en el hemisferio izquierdo.
3. Determinar si existen diferencias significativas entre señales EEG voluntarias del habla imaginada de vocales *a/ /e/ /i/ /o/ /u/* abiertas y cerradas para los estilos cognitivos dependiente, intermedio e independiente de campo intra e inter sujetos a partir de una configuración de 14 electrodos en el hemisferio izquierdo.

Aspectos Metodológicos

La presente investigación es de corte cuantitativo con enfoque exploratorio descriptivo donde se analiza la variación de la señal EEG en el hemisferio izquierdo (HI), más específicamente sobre interfaz sensoriomotora y red articulatoria (área de Broca y corteza motora) en una base de 70 sujetos hispanohablantes cognitivamente saludables, a partir de tareas de habla imaginada de vocales y su relación con la dimensión DIC utilizando la prueba EFT modificada a su versión computacional (Martínez et al., 2016) con el propósito de identificar correlaciones entre la actividad cerebral relacionada con el habla imaginada de las vocales */a/ /e/ /i/ /o/ /u/*, sus combinaciones abiertas-cerradas y los estilos cognitivos independiente, intermedio y dependiente de campo (IC, IntC y DC respectivamente), empleando un sistema de procesamiento de señales basado en la densidad espectral de potencial PSD (del inglés *Power Spectral Density*) en el dominio de la frecuencia, sobre las cuales se implementan técnicas de procesamiento de señales no lineales con funciones de modo intrínsecas IMF (del inglés *intrinsic mode function*) obtenido mediante el algoritmo Descomposición en Modo Empírico Multivariante Intrínsecamente Transformado de Proyección Adaptativa APIT-MEMD (del inglés *Adaptive-Projection Intrinsically-Transformed Multivariate Empirical Mode Decomposition*).

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio parte del modelo del procesamiento de lenguaje en humanos propuesto por Gregory Hickok y David Poeppel (2004, 2012) con el cual, se delimita la conexión entre la interfaz sensoriomotora y la red articulatoria, con el objeto de identificar variaciones en la señal EEG voluntaria no-motora en tareas de imaginario del habla de vocales sobre el HI, a partir del diseño de una estrategia de optimización en la adquisición de señales EEG, aumentando la resolución del área cerebral registrada sobre el efecto del habla imaginada.

El presente trabajo se centra en evaluar de forma diferencial, las señales EEG emitidas por el habla imaginada de vocales en condiciones controladas de atención, razón por la cual se controlaron condiciones de adquisición de señales cerebrales voluntarias no-motoras como fueron, el ambiente en que se realizó la adquisición de señales EEG (sin luminosidad, control de ruido y ubicación del sujeto), la configuración de los electrodos sobre el HI en base al sistema 10-20 referenciado por los electrodos T3 y C3, esto incluye la modificación del dispositivo EMOTIV extendiendo los electrodos de Oro a 30 cm, además del aumento de densidad de electrodos entre las áreas funcionales de percepción y producción del habla (14 electrodos ubicados entre la interfaz motora suplementaria SMA, córtex motor y premotor PM, área de Broca, Giro Supramarginal SGM, pars opercularis pOp, corteza auditiva primaria y de asociación, área de Wernicke, corteza somatosensorial primaria y de asociación). Igualmente, se predetermina la sincronía del registro EEG y la tarea de vocalización imaginada con una señal luminosa percibida con ojos cerrados, disminuyendo el efecto de artefactos (ruidos) por parpadeo o la modificación de la señal EEG por inclusión de marcas.

El análisis descriptivo exploratorio se basa en estimación de correlación significativa entre las variables dependientes e independientes tales como, señales EEG emitidas por la evocación del imaginario de vocales, el análisis espacial de la fuente a partir de la configuración de electrodos sobre el

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

hemisferio izquierdo y el estilo cognitivo en la dimensión DIC en tres grupos IC, IntC y DC, todo evaluado mediante análisis mixto de medidas repetidas de forma multivariada con SPSS.

Alcances y Limitaciones de la Investigación

Los alcances

La presente investigación evalúa de forma cuantitativa y diferencial, estilos cognitivos en la dimensión dependencia-independencia de campo, a partir de las variaciones de señales EEG voluntarias no-motoras generadas por tareas del imaginario de vocales /a/,/e/,/i/,/o/,/u/ en el hemisferio izquierdo con 4 electrodos, empleando técnicas de procesamiento de señales no lineales basadas en la descomposición de la Densidad Espectral de Potencial PSD (del inglés *Power Spectral Density*) en el dominio de la frecuencia, con funciones de modo intrínsecas IMF (del inglés *intrinsic mode function*) obtenido mediante el algoritmo Descomposición en Modo Empírico Multivariante Intrínsecamente Transformado de Proyección Adaptativa APIT-MEMD (del inglés *Adaptive-Projection Intrinsically-Transformed Multivariate Empirical Mode Decomposition*) en condiciones controladas de luminosidad, parpadeo y ruido ambiental sobre la atención.

Se identificó una correlación estadísticamente significativa entre la actividad del imaginario del habla de vocales ocurrida en el hemisferio izquierdo con la vía ventral y dorsal de procesamiento de lenguaje propuesto por Gregory Hickok y David Poeppel (2012) especialmente para la relación entre vocales abiertas y cerradas /a/-/o/ y /a/-/u/.

Se desarrolló con 70 individuos hispanohablantes una base de datos de señales EEG Voluntarias no-motoras del hemisferio izquierdo (HI) y sus PSD ponderados del imaginario de vocales en 10 IMFs organizados en 7 combinaciones experimentales de las cuales se reportan los IMF 1, 4, 5, 6 y 7 con diferencias significativas entre las vocales /a/ y /u/, así como el IMF 8 con diferencias significativas tanto

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

entre vocales /a/-/o/ y /a/-/u/ como entre los estilos cognitivos Intermedio (IntC) e Independiente de campo (IC) según comparaciones múltiples con Bonferroni.

Se realizó un estudio de revisión analítico, donde se resalta la importancia e implicaciones de los avances en la comprensión del procesamiento de lenguaje contrastado con el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2004, 2012) y sus efectos en el aprendizaje a partir del procesamiento del habla imaginada de vocales, comparando dichos postulados con los estudios propuestos inicialmente por Witkin et al., (1962) sobre la organización cerebral de los estilos cognitivos, en un análisis de antecedentes con ventana de observación hasta el año 2021 que explica sistémicamente los intentos por definir las bases neurofisiológicas de los mismos, centrándome especialmente en la dimensión DIC y sus categorías de análisis localizacionista, hemisfericidad y de diferenciación hemisférica por dominancia periférica y por lateralización hemisférica.

Las limitaciones

Los resultados obtenidos, aunque son determinantes estadísticamente, requiere de soportes empleando técnicas de neuroimagen con mayor resolución espacial como fMRI o PET-SCAN que puedan contrastar el efecto de las tareas cognitivas relacionadas con el imaginario del habla de vocales sobre el HI que permita validar los resultados obtenidos producto de la implementación del algoritmo APIT-MEMD sobre el PSD y el correspondiente análisis mixto de medidas repetidas multivariado con mayor rigurosidad. Por esta razón, la presente investigación realiza un estudio teórico a partir de una revisión detallada que permite relacionar los resultados con estudios previos fuertemente estructurados.

A pesar de los sujetos manifestar en el autoreporte normalidad cognitiva o salud mental, esta investigación presenta un 34% aproximado de exclusión por casos atípicos o redundancia de la prueba EFT, esto requiere ser analizado con el apoyo de una anamnesis clínica que de cuenta del

MARCO GENERAL Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

funcionamiento del cerebro en los voluntarios, relacionada con el procesamiento del lenguaje y la atención desde la perspectiva neuropsicológica. Sin embargo, los resultados indican un potencial uso del imaginario de vocales /a/,/o/ y /u/ en la configuración propuesta sobre el HI en el control de dispositivos especialmente con los electrodos E9, E12 y E6 (vía dorsal de procesamiento del habla) en el 66% aproximadamente de la población muestreada.

En relación a la diferenciación psicométrica de estilos cognitivos, la prueba EFT empleó un umbral estadístico que separa en tres grupos o terciles la dimensión DIC. Los resultados muestran variaciones significativas que diferencian sujetos independientes de campo (IC) de intermedios de campo (IntC) donde se esperaría que fuera más evidente la diferenciación con relación a los Dependientes de campo. El sistema desarrollado no reporta este supuesto, lo que implica replantearse el umbral de separación de terciles de estilos cognitivos en la dimensión DIC, la eliminación de una de las categorías DC o IntC y/o el efecto del procesamiento de señales EEG mediante el algoritmo APIT-MEMD.

Una consideración importante en esta investigación, es la resolución espacial de la información obtenida a partir de la configuración de 14 electrodos sobre el HI para identificar el efecto del imaginario del habla, debido a la importancia de mapear y delimitar en los PSD una mayor cantidad de áreas activas y diferenciables no solo del procesamiento del imaginario del habla de vocales, sino el potencial efecto de los estilos cognitivos, lo que implica no solo ampliar el número de electrodos, sino la inclusión de la región frontotemporal, lóbulo temporal anterior (ATL), la circunvolución temporal media (MTG), la corteza en el surco temporal superior (STS) y el área de Wernicke. Aún así, para los propósitos de investigación las regiones espacialmente rastreadas han sido representativas para evidenciar de forma multivariada diferencias significativas entre vocales abiertas y cerradas /a/,/o/,/u/..

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Marco Conceptual y Antecedentes

Es de conocimiento generalizado en la comunidad científica que características diferenciales de los sujetos cuando procesan información a nivel cognitivo podrían estar relacionadas con comportamientos neurofisiológicos estereotipados y focalizados. Por tanto, tales características podrían ser discriminables empleando técnicas de neuroimagen y procesamiento computacional, de tal forma que posibiliten el reconocimiento de patrones con potencial uso como bioindicador cuantitativo de procesos cognitivos tan complejos como son los estilos cognitivos y de aprendizaje.

Esta investigación propone la existencia de una asociación medible de forma cuantitativa entre la señal EEG emitida en tareas relacionadas con el procesamiento de información durante la producción del habla imaginada de vocales en el hemisferio izquierdo HI con el estilo cognitivo en la dimensión DIC (Evans, Richardson & Waring, 2013; Kozhevnikov, 2007). En este sentido, el uso de EEG para el reconocimiento del imaginario de vocales podría ser una herramienta potencial de diagnóstico cuantitativa de estilos de aprendizaje, con implicaciones en los resultados de aprendizaje a partir del diseño de propuestas educativas ya sea en el camino de la modificabilidad cognitiva o la diferenciación de intervenciones pedagógicas pertinentes al estilo cognitivo siempre y cuando sea previamente reconocido dicho comportamiento con técnicas psicométricas. Las bases argumentativas de esta postura se relacionan a continuación.

Potencial Biotecnológico de las Señales EEG

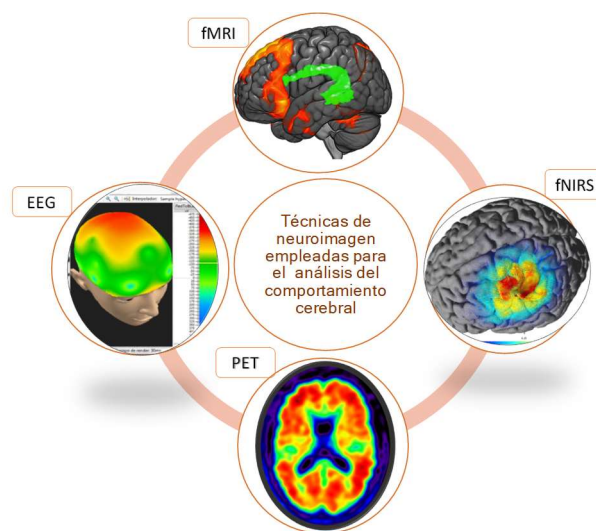
Con el propósito de aproximarse a los criterios de selección que se requieren para emplear señales EEG en el reconocimiento del habla imaginada, es necesario realizar una contextualización acerca de las propiedades, viabilidad y potencial que posee este tipo de bioseñales producidas en el córtex cerebral y su relación con las bases biológicas del procesamiento del lenguaje de forma no invasiva, así como sus implicaciones en el campo educativo.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Reyes (2017) define bioseñales como todos los tipos de señales que pueden ser medidas y controladas continuamente en los seres biológicos y se refiere tanto a bioseñales eléctricas que producen neuroimágenes de forma invasivas (Electrocorticograma ECoG) y no invasiva (electroencefalogramas EEG, magnetoencefalogramas MEG y electrocardiogramas ECG, Tomografía por emisión de positrones PET, resonancia magnética funcional fMRI y Espectroscopia funcional del Infrarrojo Cercano fNIRS) como no eléctricas (señales acústicas o respiratorias), esta investigación se centra en las señales obtenidas a través de electroencefalogramas EEG (Véase Figura 1).

Figura 1

Tipos de Técnicas de Neuroimagen



Nota: Las neuroimágenes son empleadas para el análisis del comportamiento cerebral con potencial uso para el control de BCI, diagnóstico clínico y preclínico y aprendizaje.

Las señales eléctricas EEG se conciben como el efecto de variaciones en la actividad eléctrica generada por fluctuaciones de voltaje debido al flujo de corriente iónica que se genera durante las excitaciones sinápticas en las neuronas del cerebro, estas señales producen neuroimágenes. Las señales EEG se han convertido en la modalidad no invasiva más empleada en el diagnóstico, monitoreo y/o control de dispositivos, dada su facilidad para evocar diferentes tipos de respuestas cerebrales

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

localizadas con el uso de Potenciales Evocados junto con pruebas neurofisiológicas del sistema nervioso que, en suma, permiten evaluar funcionalmente las vías nerviosas del sistema nervioso central y su efecto sobre el sistema nervioso periférico.

El registro de las señales EEG (Véanse Figuras 9 y 14). o también denominado proceso de adquisición se hace empleando sensores tipo electrodo con copa de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl) o de oro (Au) y discos de 10mm. Dichos electrodos pueden ser activos (amplificador y filtro incorporado) o pasivos (requieren amplificador externo). De acuerdo con su configuración, los electrodos se miden en unidades de microvoltios (μV) a lo largo del tiempo, la diferencia de voltaje entre cada electrodo y el electrodo de referencia se ubica en un rango que generalmente va de -100 a +100 μV .

Las configuraciones de electrodos dispuestas sobre el cuero cabelludo pueden variar de 1 a 256 o más, teniendo como base el sistema de colocación de electrodos 10/20 aceptado por la Federación Internacional de Neurofisiología Clínica. El sistema de colocación indica los puntos de referencia anatómicos específicos o distancia entre electrodos con sus respectivas variaciones 10-10 y 10-5 (Novo et al., 2010). Los electrodos se nombran de acuerdo con el lóbulo cerebral que registran: occipital Oz, O1, O2; parietal Pz, P1, P2; Temporal T1, T2; Frontal o prefrontal F1, Fp1 y Central C1, C2; la referencia se denomina A y puede ser mono o biauricular.

De acuerdo con Villamizar (2019) los electrodos en sus diferentes configuraciones logran transformar la señal análoga (variación de voltaje producida en el cerebro) a digital (almacenamiento computacional de la información), este proceso se denomina digitalización de la señal EEG y es posible debido al uso de un convertidor analógico a digital (ADC) de 12, 32 o 64 bits con una frecuencia de muestreo que va desde 100 Hz hasta varios cientos.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Las señales EEG digitalizadas y almacenadas en un ambiente computacional, requieren convencionalmente de un pre-procesamiento que pretende detectar ruidos provenientes del entorno o de bioseñales que se superpongan a la señal que se pretende identificar. Estos ruidos reciben el nombre de artefactos y pueden eliminarse empleando filtros digitales convencionales (pasa altas, pasa bajas, rechaza banda); de respuesta al impulso finita (FIR) o infinita (IIR), adaptativos o espaciales. Todos estos filtros tienen el propósito de obtener una baja relación señal/ruido SNR.

En la aplicación de filtro es muy importante determinar previamente a la adquisición de la señal EEG, la tarea cognitiva que estimulará la variación eléctrica deseada y el lugar en que se espera aumentará la probabilidad de ser captada dicha variación. Estas variaciones se pueden observar en el ambiente digital desde varias perspectivas o dominios como lo son: dominio del tiempo (amplitud y ondas en series de tiempo), dominio de la frecuencia (ondas Delta Δ , Teta Θ , Alfa α , Mu μ , Beta β y Gamma γ) o sus combinaciones tiempo-frecuencia (tiempo vs Hz) o energía mediante el espectro de potencia PSD (del inglés *Power Spectral Density*) entre otros.

En el dominio de la frecuencia (Véase Tabla 1). es posible asociar las ondas a comportamientos cognitivos estereotipados con la onda más alta en amplitud y la onda más lenta asociada con sueño profundo y vigilia, tal es el caso de la onda Delta.

Teta (Θ) con amplitud superior a 20 μV y rango de 4-7 Hz es asociada con inactividad, inspiración creativa, material inconsciente, somnolencia y meditación profunda. Alfa (α) es una onda con amplitud de 30-50 μV y rango entre 8 y 13 Hz; se asocia con la relajación, concentración y atención.

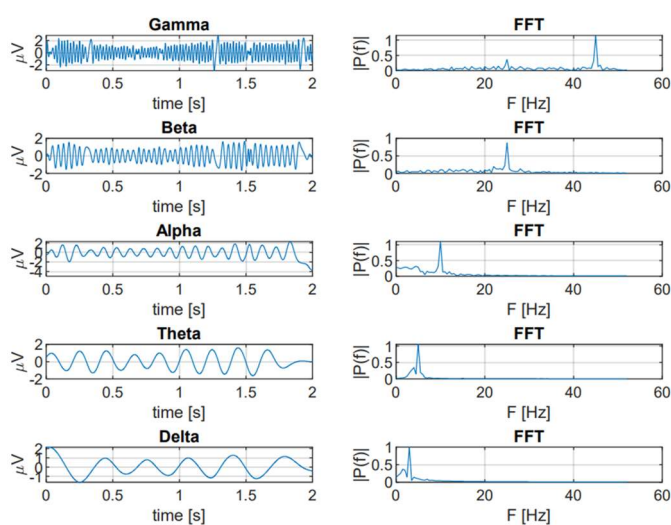
La onda Mu (μ) de 8-9 Hz se asocia con el imaginario motor y se superpone al rango de la onda alfa (inferior 7 Hz-10 Hz, superior 10-12Hz), donde la amplitud registrada sobre la corteza motora es mayor y se asocia con la supresión que indica que las neuronas motoras están funcionando.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La onda Beta (β) se asocian con procesos de alerta, pensamiento y concentración activa en un rango de 13-30 Hz. Por último, la onda Gamma (γ) podría detectarse en la corteza somatosensorial con una frecuencia superior a 30 Hz. También se muestra durante la comparación de memoria a corto plazo de objetos, sonidos o sensaciones táctiles reconocidos.

Tabla 1

Tipos de Ritmos Cerebrales y sus Características Espectrales



Nota: Dominio del tiempo izquierda, dominio de la frecuencia derecha. Tomado de la figura *Brain rhythms on the EEG signals* (Villamizar, 2019, pág 33).

Una vez realizado el pre-procesamiento, convencionalmente se tiene como objetivo analizar las propiedades espectrales de las señales EEG empleando técnicas de procesamiento de señales digitales DSP (del inglés *Digital Signal Processing*), apropiadas para identificar la correspondencia entre la tarea cognitiva realizada por un sujeto y las variaciones de señal EEG que ésta evoca o genera de forma voluntaria, a este campo se le denomina reconocimiento de patrones y está determinada estadísticamente por análisis multivariante (Véase Figura 9).

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Para seleccionar la técnica DSP apropiada en la búsqueda de patrones o regularidades de las señales EEG relacionadas con la tarea cognitiva solicitada, es necesario determinar qué tipo de señal deberá ser emitidas por los sujetos. En este sentido, se han identificado dos categorías principales de señales EEG que pueden ser analizadas por ser inducidas “Potenciales Evocados” (PE) o por ser generadas espontáneamente “señales Voluntarias” (Véase Figura 2). Las señales EEG evocadas (PE) se deben a estímulos inducidos que se presentan al sujeto de tipo auditivo, visual, táctil, gustativo u olfativo entre otros, los cuales estimulan las vías aferentes sensoriales. Por otro lado, las señales Voluntarias EEG se generan autónomamente por el usuario sin estimulación externa, ejemplo de ello son cálculos matemáticos mentales, rotación mental de figuras geométricas, conteo visual, imaginación musical, y generación mental de palabras entre otros.

Las técnicas de análisis espectral DSP empleadas convencionalmente para evocar potenciales PE incluyen Eventos Relacionados con el Potencial ERP endógenos y exógenos; potenciales relacionados con el error ErrP, Potencial Evocado P300, Potencial Cortical Relacionado con el Movimiento MRCP, Potenciales Evocados en Estado Estacionario SSEP que pueden variar en visuales SSVEP, auditivos SSAEP y somatosensoriales SSSEP (Véase Figura 2).

Las técnicas de análisis espectral DSP empleadas para analizar señales Espontáneas, también llamadas “Voluntarias” incluyen ritmos sensoriomotores SMR (ERS/ERD) (Fedosov et al., 2020; Asadi, 2019), Potenciales corticales lentos SCP (Wang et al., 2019), Imaginario Motor MI (Jin et al., 2019) o señales cognitivas no-motoras como las producidas por el imaginario del habla, estas últimas foco de la presente investigación, su clasificación se indica por la flecha roja en la imagen a continuación (Véase Figura 2).

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Varios han sido los trabajos reportados empleando señales Voluntarias debido a la habilidad que tendría el sujeto para producir la actividad mental solicitada y la capacidad de producir la señal de interés de forma autónoma y natural. Entre las modalidades más utilizadas se encuentra el “imaginario motor” que produce variaciones de la señales EEG en el lóbulo temporal y parietal, especialmente en las ondas alfa 8-13 Hz y Beta 13-30 Hz, el reconocimiento de esas variaciones se emplean en el control de dispositivos, debido a que permite identificar el movimiento que se desea hacer, ejemplo de ello es el reconocimiento de la intención de movimiento de la mano derecha o izquierda, así como del dedo de manos o pies (Lehtonen, 2008) tanto como de la lengua (Townsend, Graimann, & Pfurtscheller, 2006). Tales patrones son utilizados en personas con deficiencias motoras leves a graves para recuperar el movimiento de forma autónoma mediante tecnologías asistivas en rehabilitación motora.

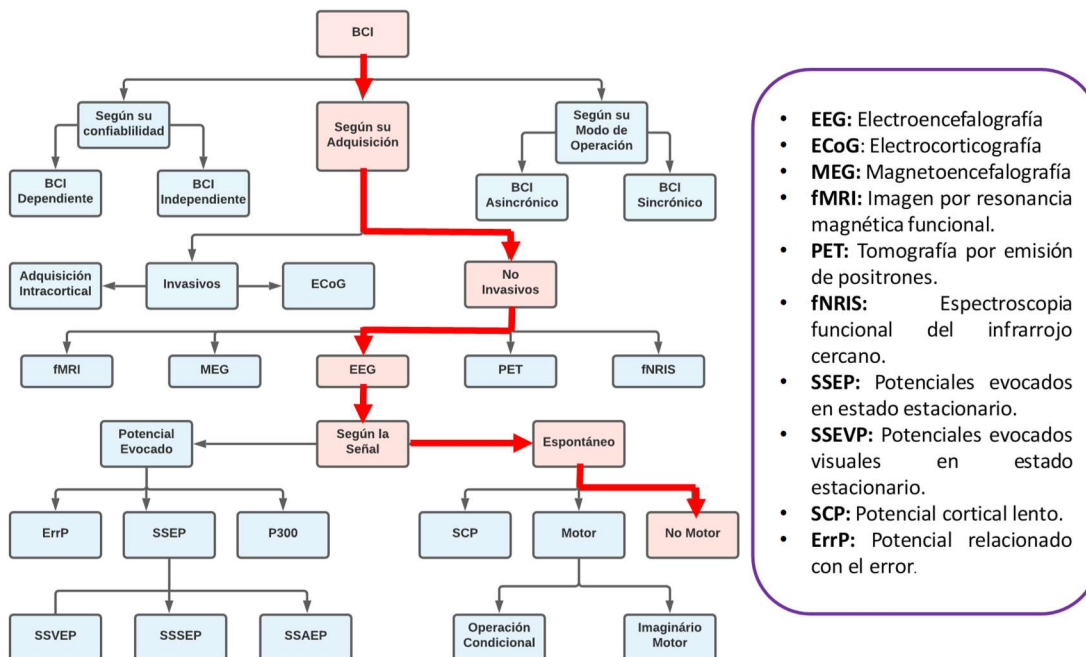
Las investigaciones con señales EEG producidas de forma Voluntaria incluyen la evocación de procesos cognitivos de tipo asociativo denominadas “señales Voluntarias no-motoras” (Véase Figura 2). tales como: procesos de relajamiento, el imaginario de contar, escribir una letra o hacer un cálculo matemático, el imaginario de rotación de un objeto 3D (Keirn & Aunon, 1990), tareas de fluidez verbal, generación de palabras silenciosas fonémicas (guiadas por letras) y generación de palabras mudas semánticas (guiadas por categorías).

En este sentido, el imaginario no-motor a diferencia del imaginario motor muestra una ventaja en la adquisición durante el entrenamiento, en la medida que el sujeto puede producir señales EEG de forma espontánea, situación que disminuye tanto la fatiga como la pérdida de atención. La dificultad del uso de señales no-motoras radica en la determinación del área del cerebro que la produce y las señales que se superponen ocultando su actividad además de su carácter no lineal.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 2

Tipos de señales EEG empleadas para control de dispositivos BCI



Nota: las señales EEG pueden tener aplicaciones para diagnóstico, monitoreo y tratamiento de alteraciones cognitivas en seres humanos. Las flechas rojas llevan al tipo de señal empleada en la presente tesis. Adaptado de (Rashid, 2019).

En suma, la identificación de señales EEG Voluntarias o inducidas, producidas en tareas cognitivas que implican procesamiento de alto nivel de complejidad como son la sensación, atención, procesamiento de información, percepción, memoria, pensamiento, conciencia, lenguaje, inteligencia y/o aprendizaje entre otros, posibilita una amplia gama de aplicaciones y desarrollo de tecnologías asistivas, al asociarse con la identificación de forma más precisa con la actividad cerebral. Ejemplo de ello en el campo educativo incluye detección de dificultades de aprendizaje por autismo, trastorno por déficit de atención con hiperactividad TDAH o identificación de estilos de aprendizaje.

Otra de las aplicaciones en el campo de la medicina e ingeniería biomédica que se ha beneficiando de forma creciente son las tecnologías asistivas tales como Interfaces Cerebro Computador

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

o BCI (de inglés *Brain Computer Interface*) e interfaz cerebro-máquina BMI (del inglés *Human Machine Interface*) (Véase Figura 3), las cuales se definen según Alonso y Gil (2012) como una forma de comunicación aumentativa que toma señales de la actividad eléctrica emitida por el sistema nervioso central y/o nervios periféricos en humanos para el control autónomo de dispositivos robóticos mediada por una interfaz computacional que transforma la señal en un comando de control que el dispositivo asistencial ejecuta.

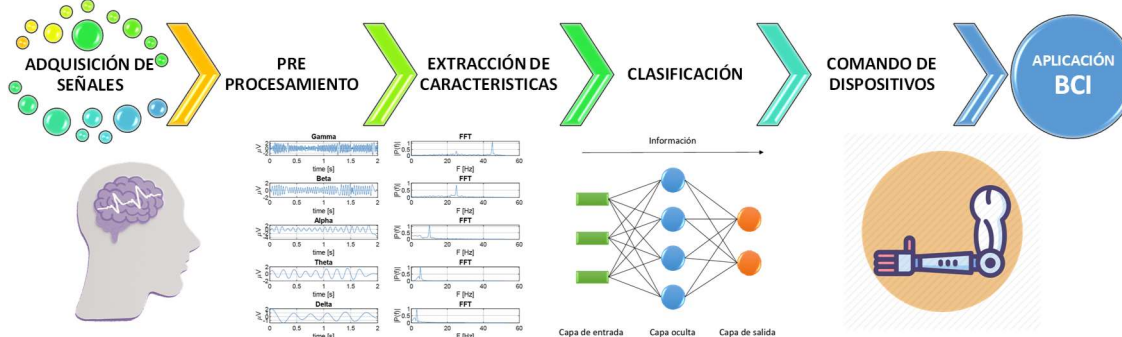
Según Mason y Birch, (2003) citado por Rashid et al., (2020) cada sistema BCI consta esencialmente de cinco componentes (Véase Figura 3): medición de la actividad cerebral, preprocesamiento, extracción de características, clasificación automática de características a ser utilizadas por el sistema y la traducción de la señal clasificada a un comando que será el que controlará el dispositivo robótico o asistencial. Adicionalmente, Lotte et al., (2015) citado por Ramadan y Vasilakos, (2017) y Rashid, et al., (2020) sugieren una clasificación de las BCI según su dependencia de acuerdo al paradigma usado para la toma de decisiones (dependiente PE e independiente o también llamadas Voluntarias); de acuerdo al método de registro según el grado de aproximación de los electrodos al tejido cerebral (invasiva, no invasiva, semi-invasiva) o tipo de sincronización (sincrónica *on-line* ó asincrónica *off-line*). En el caso de señales EEG no invasiva para el control de dispositivos robóticos una BCI se puede representar como se observa en la figura 3.

Los resultados en el desarrollo de BCI dependientes, han sido útiles en la manipulación de videojuegos o sillas de ruedas robóticas, mientras que las BCI independientes han aportado al desarrollo de tecnologías asistivas en sujetos con pérdida severa de control motor autónomo como es el caso de la esclerosis lateral amiotrófica, el Síndrome de enclaustramiento LiS, accidente cerebrovascular del tronco encefálico, esclerosis múltiple, parálisis cerebral y lesión de la médula espinal entre las más complicadas (Rashid et al., 2020).

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 3

Esquema Estructural de un Sistema BCI



Nota: El sistema BCI explica una aplicación dirigida al control de dispositivos robóticos como prótesis para personas amputadas de mano y muñeca (Adaptado de Rashid et al., 2020).

En un estudio de revisión realizado por Xu, J., y Zhong (2018) se indica que la tecnología EEG portable o PEEGT (del inglés *portable EEG technology*) se está proponiendo en el campo educativo desde los siguientes ejes articuladores: comprensión lectora, patrones de presentación de materiales de aprendizaje, comportamiento interactivo, entretenimiento educativo, aprendizaje *e-learning*, adquisición de habilidades motoras y promoción del rendimiento del aprendizaje con PEEGT. Sin embargo, los principales desafíos identificados implican tanto el reconocimiento de la fuente cerebral donde se originan las bioseñales emitidas durante el proceso de aprendizaje junto con entornos educativos altamente inmersivos.

De esta manera, el campo de las BCI empleando señales EEG procesadas mediante IA, podrán ofrecer un camino complementario a la educación convencional, ejemplo de ello lo soportan los avances desde el Procesamiento de Lenguaje Natural NLP (del inglés *Natural Language Processing*) que incluye estructuración de cursos asincrónicos en procesos de educación en línea, educación virtual *m-learning*, *e-learning* o *b-learning* mediante plataformas LMS (del inglés *Learning Management System*), plataformas de de tipo *ChatBot* como es el caso de Google con *Dialogflow*, Amazon con *Lex*, IBM con

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Watson, entre otras: guías de estudio personalizadas denominadas *Smart Content*; preguntas y respuestas en tiempo real; reconocimiento de voz en cualquier idioma; tutoría y supervisión automatizada del proceso de aprendizaje; gamificación de los contenidos de aprendizaje; filtros para consultas que faciliten recomendaciones o curación de contenidos y detección de plagio entre las más relevantes.

Como lo indica Holmes (2021) la educación se verá beneficiada con los desarrollos de la ingeniería que utiliza IA con la mediación de tutores inteligentes embebidos en computadores o teléfonos celulares, robots sociales y colaborativos que acompañan al docente en la experiencia de aprendizaje del estudiante, facilitando el desarrollo de habilidades cognitivas dirigidas a implementar ambientes de aprendizaje apropiados a las necesidades de cada contexto educativo y la forma en que aprende cada estudiante.

En este sentido, uno de los grandes desafíos en el campo de la IA es enseñar a los robots a comunicarse con los humanos a partir de la comprensión del lenguaje natural NLU (del inglés *Natural Language Understanding*). De esta forma, el uso de señales EEG, por ser no invasivas, de carácter no líneal y ofrecer una alta resolución temporal, se convierte en una técnica de gran potencial para analizar la forma en que el cerebro humano desarrolla el lenguaje y se modela en dispositivos bioinspirados con habilidad para producir y comprender el habla (Reshamwala, 2013; Liddy, 2001).

Bajo esta perspectiva, una de las señales Voluntarias EEG no-motora de interés en la presente investigación es el imaginario del habla y específicamente el imaginario de vocales correspondiente al procesamiento del lenguaje determinado en el área de la lingüística por el nivel léxico, que junto con los niveles fonológico, morfológico, sintáctico, discursivo y pragmático hacen parte de la complejidad en la que se produce en los humanos el procesamiento cognitivo denominado lenguaje (Reshamwala, 2013;

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Chowdhury, 2003; Liddy, 2001; Agarwal et al., 2020; Morooka, Ishizuka & Kobayashi, 2018; Matsumoto, M. & Hori, J. 2014; Krishna et al., 2020; Ghosh et al., 2019; Ghane P., Hossain G. & Tovar, A. 2016; Fujimaki et al., 1994a; Chu et al., 2013), como se explica en el siguiente apartado.

Imagineria del Habla

Antes de abordar la noción de imaginario del habla se considera necesario reconocer el modelo neurolingüístico relacionado con los niveles de procesamiento del lenguaje que se producen en el hemisferio izquierdo y que están categorizados por aspectos fonológicos, morfológicos, sintácticos, semánticos y de razonamiento. Las evidencias de neuroimagen que registran las señales cerebrales señalan que el nivel sintáctico encargado del procesamiento léxico está relacionado con el origen de la producción del imaginario del habla foco de la presente investigación (Hickok y Poeppel 2004, 2012).

El imaginario del habla se define como el proceso de decodificar letras o sílabas generadas por una representación interna o imaginada de palabras, sílabas o vocales sin emitir ningún sonido, ni articular gestos o vibración en el aparato orofaríngeo (Tamm, Muhammad & Muhammad, 2020); dicho proceso es explicado a partir del modelo sugerido por Hickok y Poeppel (2012) relacionado con el procesamiento del lenguaje (Véase Figura 5); este modelo sugiere que en las áreas cerebrales sensoriomotora y frontotemporal del hemisferio izquierdo (HI) se localizan variaciones de bioseñales que tienen que ver con el procesamiento del lenguaje (Hickok & Poeppel, 2000, 2004, 2012; Giraud & Poeppel 2012, Luo & Poeppel, 2007; Poeppel, Idsardi & Van Wassenhove, 2008,). Los resultados de investigaciones en los campos de la neuropsicología, psicolingüística y ciencia cognitiva aplicada a la medicina utilizando señales invasivas ECoG reportados por Pei et al., (2011), Brumberg et al., (2011,2016) e Ikeda et al., (2014) han coincidido con dicho modelo al estudiar sujetos con alteraciones graves en dichas áreas cerebrales (Véase Figura 8).

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Varios estudios indican que el habla imaginada genera señales cerebrales Voluntarias no-motoras que pueden evocarse por articulación encubierta, imaginario del habla o habla silenciosa; tales señales se han implementado de manera promisoria tanto en el campo de la rehabilitación cognitiva y motora como en la comunicación aumentativa aplicada al control de dispositivos (Moffatt, Pourshahid & Baecker, 2017). Algunos estudios reportan que las señales producidas por el habla imaginada presentan potenciales ventajas en relación con otras técnicas de procesamiento de señales cerebrales, tales como: versatilidad en el reconocimiento de patrones de producción del habla, eficiencia en el control de dispositivos BCIs, disminución de la fatiga cognitiva y muscular durante el entrenamiento (Drubach, Benarroch & Mateen, 2007), facilidad en la accesibilidad y portabilidad (Sharma, Pomeroy & Baron, 2006), a continuación se explica la forma de obtener y procesar dichas señales.

Procesamiento anatómico-funcional del imaginario del habla

Las evidencias anatómico-funcionales que relaciona la producción del imaginario del habla con las áreas cerebrales donde se genera el procesamiento del lenguaje se explican a través del modelo de Hickok y Poppel (2004, 2012) mediante tres procesos que se dan en dos vías: la vía ventral de entrada información sensorial y la vía dorsal que incluye la conceptualización o semántica y la producción del habla.

El sistema anatómico funcional base del procesamiento del lenguaje propuesto por Hickok y Poeppel, (2000, 2004, 2012) incluye secuencialmente la transformación de estímulos auditivos o visuales en el gesto motor del habla. Dicha transformación requiere la traducción de representaciones sensoriales-auditivas o sensoriales-visuales del habla que se produce sobre la corteza cerebral inicialmente en los dos hemisferios a través de vías específicas de procesamiento y asociación.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La **vía ventral** determina la percepción del habla, la cual se genera una vez las representaciones sensoriales auditivas o visuales se asocian en las proyecciones del lóbulo temporal como una representación conceptual semántica determinante para la comprensión del significado correspondiente al estímulo sensorial auditivo o visual (Véase Figura 5).

La **vía dorsal** toma las representaciones semánticas y las convierte en representaciones motoras, este proceso ocurre a través de las proyecciones temporoparietales que se dirigen hacia la región frontotemporal, también denominada interfaz sensoriomotora (Véase Figura 5). Los tipos de representaciones motoras del habla son: articulación encubierta, habla silenciosa y habla imaginada que se generan en el área funcional somatosensorial y de broca (entre las áreas de Brodmann 6 y 44) (Véase Figura 4 izq y Apéndice 1 link 3) (Pei et al., 2011; Brumberg et al., 2011, 2016 e Ikeda et al., 2014).

Para identificar con mayor claridad las áreas relacionadas con el procesamiento del habla (Véase Figura 5), es necesario ubicarnos espacialmente en la organización anatómica del cerebro (Véase Apéndice 1 links 1 y 3); de un lado se establecen inicialmente diferencias por lateralidad entre los hemisferios izquierdo (HI) y derecho (HD) y de otro, diferencias por capas de la más profunda a la más superficial del cerebro: hipotálamo, tálamo, sistema límbico, córtex y neocórtex, estos últimos se subdividen en lóbulos nombrados de acuerdo a su ubicación y cierto tipo de funciones cognitivas como occipital, parietal, temporal y frontal (Guyton & Hall. 2021).

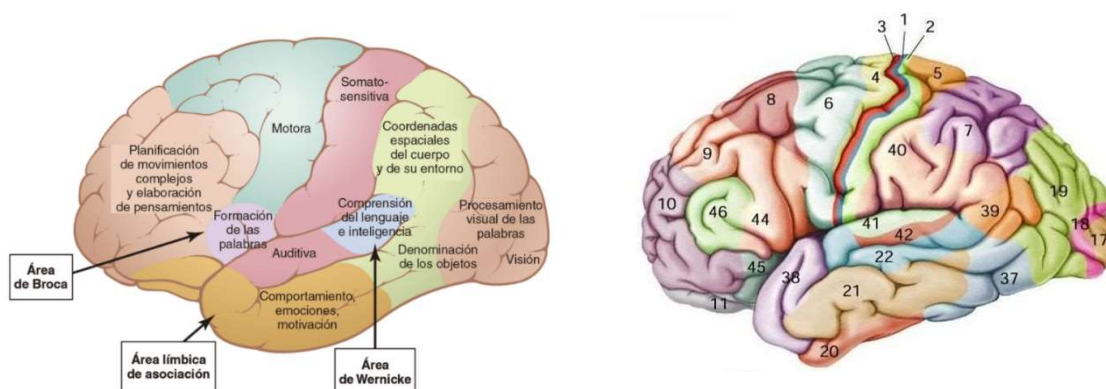
De esta forma, las funciones cognitivas se activan a partir de entradas sensoriales por vía aferente, y obtienen respuestas motoras por vía eferente, es decir, las neuronas aferentes se encargan del transporte de los impulsos nerviosos desde los órganos receptores hasta el sistema nervioso central (SNC) y viceversa, las neuronas eferentes llevan los impulsos nerviosos hacia Sistema nervioso periférico (SNP) (Hudspeth, 2013). El procesamiento de información que modula tales respuestas a estímulos

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

sensoriales y respuesta motora se dan de acuerdo a niveles de asociación entre conexiones neuronales de diferente tipo de asociación tales como: unimodales, bimodales o multimodales de acuerdo con la complejidad de la tarea cognitiva desarrollada (Véase Figura 4 izq y Apéndice 1 link 1).

Figura 4

Mapa Anatomofisiológico y Funcional del Cerebro Humano



Nota: La imagen a la izquierda muestra el Mapa de áreas funcionales específicas en la corteza cerebral señalando las áreas de Wernicke y de Broca para la comprensión y producción del lenguaje, situado en el hemisferio izquierdo HI en el 95% de personas. Derecha: áreas de Broadman HI (para mejor identificación se puede apoyar en el Apéndice 1 links 1, 2 y 3). Tomado de (Guyton & Hall. 2021).

Las fuentes unimodales o bimodales de procesos cognitivos se relacionan espacialmente con: los lóbulos temporal izquierdo y derecho cuya asociación determina por ejemplo el procesamiento de información sensorial-auditiva o sensorial-visual; el área de Wernicke se asocia con la representación semántica y comprensión de la información fonológica lo que requiere de la organización bimodal al requerir tanto de la memoria como el procesamiento sensorial-auditivo de forma simultánea; el área de Broca junto con el córtex premotor y motor se asocian de forma multimodal con el área de asociación límbica que procesa información del comportamiento, las emociones y la motivación activando circuitos nerviosos que procesan la articulación motora de palabras (Véase Figura 4 izq).

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Para referenciar con mayor detalle las áreas cerebrales indicadas aquí, se sugiere utilizar el mapa funcional propuesto por el neurólogo alemán Korbinian Brodmann en 1909, el cual muestra con mayor detalle zonas con funciones nerviosas específicas e identifica un total de 47 áreas diferenciadas por estructura celular o citoarquitectura las cuáles se tomarán en cuenta para la presente descripción (Guyton & Hall 2021, Hudspeth et al., 2013) (Véase Apéndice 1 link 3).

La forma en que el modelo de Hickok y Poppel (2004, 2012) explica el procesamiento de información fonológica y la traduce a representaciones motoras tales como el imaginario del habla a través de las vías ventral y dorsal del hemisferio izquierdo (HI) se describen a continuación.

Representaciones sensoriales del habla “via ventral”

El modelo de Hickok y Poppel (2004, 2012) define la percepción del habla como el proceso mediante el cual la información fonológica recibida por la vía sensorial-auditiva o sensorial-visual proyectadas a partir de los lóbulos temporal y/o occipital, adquieren un significado en la medida en que se ha estructurado su representación conceptual/semántica en vocales, sílabas, palabras o frases, constituyendo una oración pasando de un área de asociación unimodal a una bimodal.

El modelo de en términos espaciales infiere que la percepción del habla, producto de la estimulación sensorial proyectada en el lóbulo temporal de los hemisferios izquierdo (HI) y derecho (HD), se procesa a través de la ***vía ventral*** y el área temporoparietal del hemisferio izquierdo del cerebro (Véase Figura 5). La ***vía ventral*** involucra las áreas corticales (Véase Apéndice 1 links 2 y 3): surco temporal superior (STS) ubicado en las áreas de Broadman 38, 41, 42 y el lóbulo temporal infero-posterior (pITL), ubicado en las áreas de Broadman 21 y 22, es decir, porciones de la circunvolución temporal media (MTG), ubicadas en las áreas de Broadman 22, 21, 37 y la circunvolución temporal inferior (ITG), ubicadas en las áreas de Broadman 37, 39 (Véase Figura 5 y Apéndice 1 links 2 y 3). Las

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

estructuras pITL son la interfaz que transforma las representaciones sonoras del habla en la circunvolución temporal superior (STG), ubicado entre las áreas de Broadman 38, 41, 42 a las representaciones conceptuales ampliamente distribuidas por la corteza cerebral.

El procesamiento de **sonido-significado** correspondiente al nivel de percepción incluye en la **vía ventral** la “*comprensión fonológica*” relativas al área de Wernicke, ubicada en el córtex temporoccipital del hemisferio izquierdo (HI), más precisamente entre las áreas de Broadman 22 y 45 (Véase Apéndice 1 links 2 y 3). Los estudios de neuroimagen basados en el estado de reposo caracterizado por la ausencia de la evocación de estímulos en estado consciente, sugieren que la escucha del habla, activa la circunvolución temporal superior (STG) bilateralmente, incluyendo la circunvolución temporal superior STG dorsal y el surco temporal superior (STS) (Véanse Figuras 5, 6 y Apéndice 1 links 2 y 3).

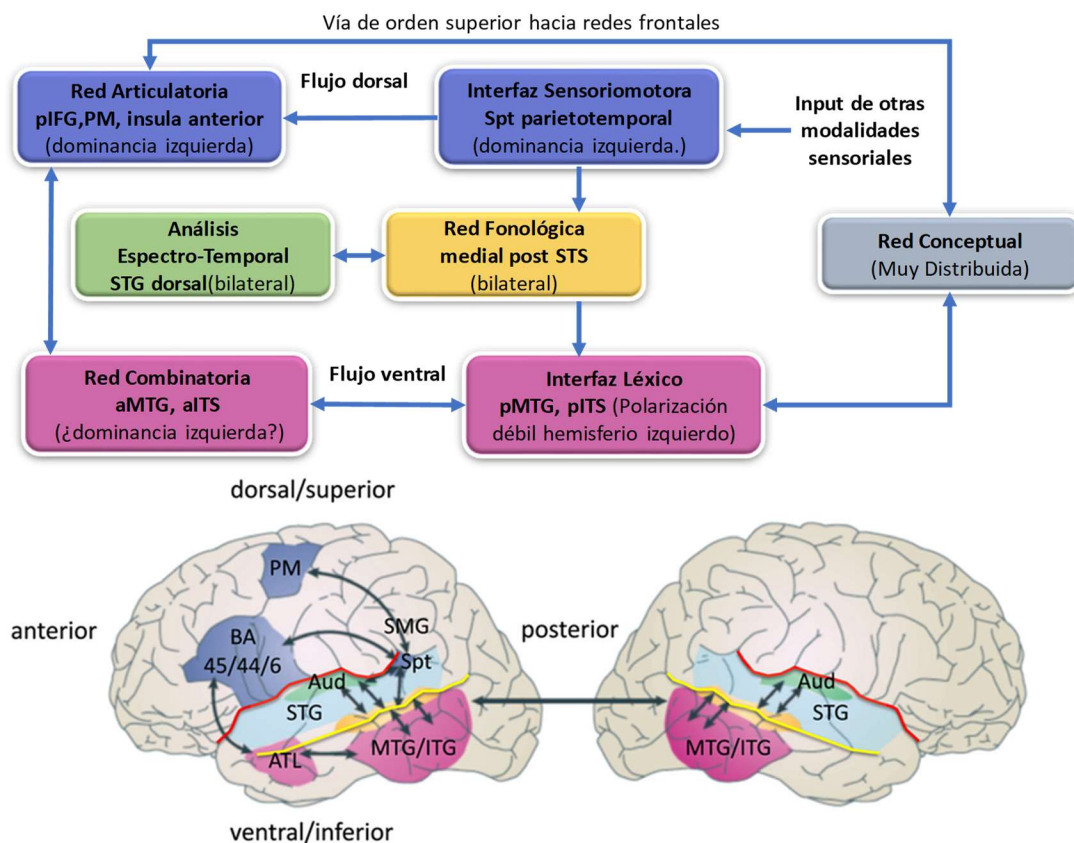
La **vía ventral** de procesamiento fonológico a pesar que se inicia en las proyecciones auditivas de los lóbulos temporales tanto del hemisferio izquierdo (HI) y derecho (HD), varían tanto por cuestiones de dominancia hemisférica, como de especialización de redes neurales en el córtex cerebral. Por ejemplo, se sabe que la frecuencia de muestreo en el HI opera a una frecuencia más rápida (25–50 Hz) con relación al HD (4–8 Hz). Ésta asimetría de función indica que, el reconocimiento de la palabra hablada involucra vías paralelas de al menos una en cada hemisferio en el mapeo del sonido al significado.

El reconocimiento del **significado fonológico** se ha evidenciado en la activación del surco temporal superior (STS) durante la formación de representaciones auditivas. Por tanto, los estímulos acústicos activan el STS durante la percepción de habla en respuesta al procesamiento fonológico y semántico (Véase Figura 5 y Apéndice 1 links 2 y 3). La activación de STS puede modularse con la manipulación de variables psicolingüísticas que aprovecha las redes fonológicas de manera adaptativa.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 5

Esquema Representativo Anatómico-funcional del Procesamiento de Lenguaje en Humanos



Nota: Se representa el modelo propuesto por Hickok y Poeppel procesamiento de lenguaje, (2004, 2012). (aITS, anterior inferior temporal sulcus; aMTG y pMTG, anterior y posterior middle temporal gyrus; pIFG, posterior inferior frontal gyrus; PM, premotor cortex. superior temporal gyrus (STG), superior temporal sulcus STS, Sylvian fissure at the parieto-temporal boundary area Spt, anterior temporal lobe ATL). Tomado de (Hickok & Poeppel, 2012).

Representaciones conceptuales/semánticas HI

Las representaciones sensoriales del habla una vez transformadas en percepción fonética se activa simultáneamente en el lóbulo temporal del hemisferio izquierdo (HI) el área de Wernicke (Broadman 22, 45), siendo este un indicador relacionado con la comprensión auditiva transformando las

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

representaciones fonológicas en esquemas conceptuales-semánticos dotados de significado (Véanse Figuras 5 y 6). El modelo de flujo ventral/dorsal sostiene que, si bien las representaciones **conceptuales-semánticas** están ampliamente distribuidas a lo largo de la corteza, un sistema más focal sirve como interfaz de procesamiento de información sensorial-auditiva, es decir, mapea entre representaciones de nivel fonológico y representaciones conceptuales distribuidas, almacenadas sobre los lóbulos temporales izquierdo y derecho.

Los estudios de imágenes funcionales (fMRI, PET) también han implicado a las regiones temporales medias posteriores en el procesamiento conceptual de representaciones auditivas también denominado procesamiento **léxico-semántico**. Estos hallazgos no excluyen la participación de regiones más anteriores de la ínsula en el acceso léxico-semántico, pero sí evidencian una participación significativa de las regiones posteriores que incluyen el giro temporal superior (STG). Aun así, la participación de áreas posteriores del lóbulo frontal en los procesos léxico-semánticos continúa siendo discutida.

Las regiones del lóbulo temporal anterior (ATL) ubicado en el área de Broadman 38 (Véase Figura 5 y Apéndice 1 links 2 y 3), se han visto implicadas tanto en el procesamiento léxico-semántico como en el nivel de estructuración y significado de oraciones (procesos de integración sintáctica y/o semántica). Evidencias basadas en imágenes funcionales (fMRI, PET) han encontrado que partes del ATL son más activas mientras los sujetos escuchan o leen oraciones en lugar de listas no estructuradas de palabras o sonidos. Este efecto estructurado versus no estructurado es independiente del contenido semántico de los estímulos, aunque las manipulaciones semánticas pueden modular un poco la respuesta ATL (Véase Figura 5). Lo anterior sugiere la participación de ATL en el procesamiento **semántico-sintáctico** y compositivo en el procesamiento del lenguaje.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Representación sensorial/motora “vía dorsal HI”

De forma complementaria a la vía ventral del hemisferio izquierdo (HI) especializada en el procesamiento sensorial fonológico y semántico se encuentra la **vía dorsal**, especializada en la integración **auditivo-motora**, es decir, la transformación de representaciones semánticas en esquemas motores destinados a la producción del habla y esencialmente el segmento responsable de la generación de la **imageria del habla** (Véanse Figuras 5 y 6).

El flujo auditivo o visual activa la vía dorsal del HI, dicha interfaz traduce las representaciones auditivas en representaciones motoras del habla. Las evidencias de neuroimagen han identificado una red de regiones involucradas que incluyen progresivamente áreas auditivas en el surco temporal superior STS; áreas motoras en la circunvolución frontal inferior izquierda que incluyen partes del córtex premotor PM ubicadas en las áreas de Broadman 6, 8 y área de Broca en las áreas de Broadman 6, 44 y 45; un sitio premotor izquierdo más dorsal (Broadman 6, 8) y una región en la fisura de Silvio posterior en el límite parietal-temporal del hemisferio izquierdo también llamada área Spt (intersección Silvio-parietal-temporal, Broadman 41, 42, 39, 40) (Véase Figuras 5, 6 y Apéndice 1 links 2 y 3).

La región del surco temporal superior (STS) sería la encargada de transformar las representaciones sensoriales fonológicas en esquemas motores relacionados con la producción del habla también denominado **decodificación del habla** (Véase Apéndice 1 links 2 y 3). las regiones motoras codifican representaciones motoras del habla y el área Spt se desempeñaría como un sistema de integración **sensorial-motora** (Véase Figura 5). Esta hipótesis ha sido apoyada por estudios donde el daño a la unión temporal-parietal izquierda ha generado afasia de conducción, un síndrome que se caracteriza por una buena comprensión, pero frecuentes errores fonéticos en la producción del habla.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Es así como, los avances recientes sobre la comprensión del control motor en la producción del lenguaje resaltan el papel de los modelos internos, es decir que, el sistema nervioso hace predicciones anticipadas sobre el estado futuro de los articuladores motores y las consecuencias sensoriales de las acciones predichas para controlar la acción, las predicciones son generadas por un modelo interno que recibe copias eferenciales de comandos motores y los integra con información sobre el estado actual del sistema y la experiencia pasada (aprendizaje) detectando y corrigiendo errores motores.

Las entradas al sistema de producción del habla en relación al modelo interno, provienen de una red **léxico-conceptual** asumida por los modelos psicolingüísticos. En medio del sistema de entrada/salida hay un sistema fonológico que se divide en dos componentes, correspondientes a los subsistemas de entrada sensorial y salida motora, la cual está mediada por un sistema de traducción sensoriomotor que corresponde al área Spt y el giro supramarginal ventral SMGv (Véanse Figuras 5 y 6).

De esta manera, las entradas a la red **auditivo-fonológica** definen los objetivos auditivos de los gestos del habla, a medida que una unidad motora del habla comienza a activarse, sus consecuencias auditivas predichas se pueden comparar con el objetivo auditivo. Si coinciden, esa unidad seguirá activada, a esto se le denomina **imaginario del habla**, lo que dará como resultado una articulación que alcanzará el objetivo. Si hay una discrepancia, se puede generar una señal de corrección para activar la unidad motora correcta y por tanto un imaginario del habla corregido generando un esquema de articulación adecuado para la producción del gesto motor que activa el sistema orofonador y por tanto la emisión del sonido en voz.

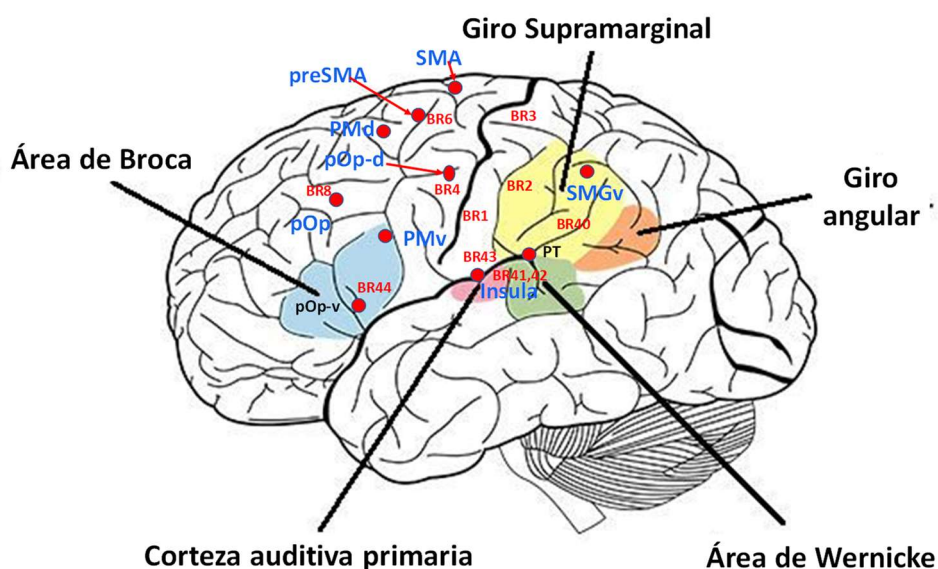
Así, el **imaginario del habla** corresponde al nivel lingüístico **léxico-conceptual**, desarrollado sobre la **vía dorsal**, involucra potencialmente procesos que se dan entre el giro Supramarginal ventral SMGv (área de Broadman 40, 2), pasando por el área de la ínsula (área Spt), activando el área motora

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

suplementaria (pre-SMA y SMA, Broadman 4, 6) del córtex premotor dorsal (PM-d), donde se da la planeación motora orofacial que se configuraría en el Pars-opercularis dorsal (áreas pOp-d), Finalmente, en el área de Broca (Broadman 6, 44) y Pars-opercularis ventral (pOp-v), el imaginario del habla tendría su base articular necesaria para enviar el programa motor hacia las estructuras musculares orofaciales que ejecutarán la emisión del sonido y por tanto el habla (Véase Figura 6 y Apéndice 1 links 2 y 3).

Figura 6

Mapa de Procesamiento de Lenguaje en Humanos con Áreas de Broadman



Nota: El mapa resalta las áreas de lenguaje Wernicke, Broca y Giro Supramarginal junto con las áreas de Broadman sobrepuestas al modelo de Hickok y Poeppel, (2004, 2012). Córtex premotor dorsal y ventral (PM-d y PM-v). Planeación motora orofacial en el pars-opercularis ventral y dorsal izquierdo (pOp-v, pOp-d), córtex pre-motor suplementario y área motora suplementaria (pre-SMA y SMA), surco temporal superior (pSTS), giro supramarginal (SMG-v) y plano temporal izquierdo (PT) Adaptado de (Hickok & Poeppel, 2016)

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Dada la aproximación anatomofisiológica que relaciona el modelo de Hickok y Poeppel, (2012) sobre la producción del imaginario del habla, es posible delimitar evidencias en estudios que emplean señales EEG evocadas durante el imaginario de vocales, que utilizan técnicas de análisis espectral junto con sistemas de clasificación automático, lo que ha conllevado a un reconocimiento de patrones con cada vez mayor precisión, La validación de dichos sistemas han potencializado su uso en el control de BCI entre otras aplicaciones como se describe a continuación.

Reconocimiento de Señales EEG e Imaginaria de Vocales

En concordancia con las evidencias presentadas en el apartado 2.2.4 sobre el nivel léxico-conceptual, desarrollado en la vía dorsal del hemisferio izquierdo (HI), y la consecuente producción del imaginario del habla previa a la gesticulación del habla dirigida por el córtex motor según el modelo de Hickok y Poeppel (2004, 2012) varias investigaciones que han empleado señales EEG en el reconocimiento del imaginario de vocales han correlacionado con las mismas áreas descritas en tal modelo de forma significativa y cada vez más precisa, a partir de diferentes técnicas de procesamiento digital de señales (DSP).

Para el caso de la presente investigación, la evocación de tareas cognitivas Espontáneas o Voluntarias de tipo no-motor como es el caso del imaginario de vocales, ha empleado 3 categorías de técnicas de procesamiento de señales EEG basadas en DSP (Véase Figura 7):

1. Técnicas convencionales basadas en métodos estadísticos apropiados para datos que se comportan de forma lineal y estacionaria como es el caso de Aprendizaje de Máquina o *Machine Learning* e incluye:
 - a. *Adquisición de señales EEG*, que implica delimitar el área cerebral a estudiar con una configuración espacial de electrodos, su digitalización y almacenamiento.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

- b. *Preprocesamiento*, corresponde a la identificación de ruidos o también llamados artefactos (red eléctrica, señales electromiográficas EMG o electrocardiográficas ECG, señales EEG de otras actividades cerebrales, entre otros) y su subsecuente filtraje dirigido a eliminar o reducir su efecto sobre la señal de estudio a partir de métodos matemáticos (filtro notch, filtros rechaza banda, pasa banda, filtros de respuesta infinita IIR o finita FIR, filtros adaptativos, entre otros) que transforman la señal de origen y atenúan la relación señal ruido SNR (del inglés *Signal Noise Ratio*).
- c. *Procesamiento*, la señal EEG filtrada ahora puede ser analizada en diferentes dimensiones como se indica a continuación:
- i. *Dominio del tiempo*: permite un análisis espectral a manera de series de tiempo empleando métodos de análisis estadístico descriptivo e inferencial para cada canal o señal detectada por electrodo;
 - ii. *Dominio de la frecuencia*: se puede aplicar métodos matemáticos como la transformada de fourier o transformada rápida de fourier la FT o FFT (del inglés *Fourier transform* y *Fast Fourier Transform*) para ver la señal en el dominio de la frecuencia y así identificar picos relacionados con las ondas delta, teta, alfa, beta o gama (Véase Tabla 1), así como, identificar las variaciones de energía empleando el espectro de potencia o PSD (del inglés *Power Spectral Density*) entre otros;
 - iii. *Dominio tiempo-frecuencia*: aumenta la resolución de la señal al permitir visibilizar las dos dimensiones en la señal EEG incluyendo la amplitud, frecuencia y tiempo en que una señal EEG evolucionó para cada canal o electrodo.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

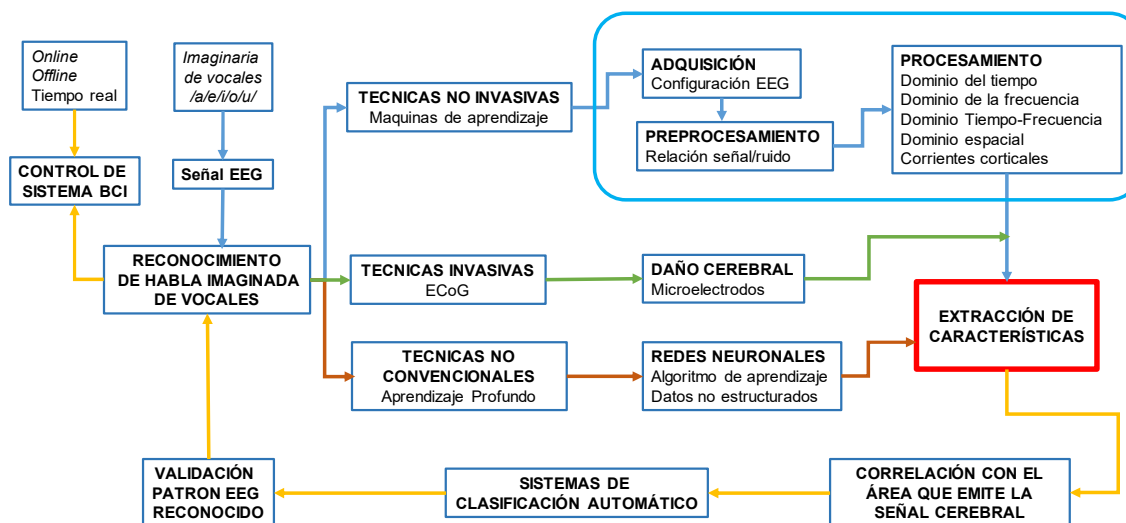
- iv. *Dominio espacial:* es un método de filtrado espacial que convierte las ondas cerebrales en un espacio único de características donde se magnifica la variación de un grupo de forma diferencial resaltando la fuente que origina la señal de estudio;
 - v. *Corrientes corticales:* evidencia flujos de actividad neuronal que explican procesos cognitivos específicos, contrastando con otras actividades de neuroimagen como lo es la Resonancia Magnética funcional fMRI aumentando la resolución espacial y temporal.
- d. *Extracción de características,* esta parte del proceso se enfoca en identificar comportamientos regulares en la señal EEG de acuerdo a la dimensión abordada con algoritmos previamente aplicados, correlacionando las variaciones de la señal EEG con la tarea cognitiva solicitada. En el caso de la imaginaria de vocales, es importante tener no solo una base de datos considerable, sino una estrategia de aplicación de algoritmos que puedan ser organizados de manera conjunta, para aumentar la precisión de los resultados mediante métodos de agrupamiento (*clustering*) en altos volúmenes de datos.
2. *Técnicas Invasivas,* emplean la Electrocorticografía ECoG para la identificación de áreas corticales con microelectrodos directamente sobre la masa encefálica, mapeando con alta precisión cortical efectos de procesamientos cognitivos tales como la producción del habla en personas que han sufrido alteraciones por enfermedades tales como epilepsia, síndrome de enclaustramiento LiS o trastornos producidos por afasias entre otras afecciones cognitivas que alteran la producción normal del habla. En general, las señales aquí obtenidas se analizan con *Machine Learning* y se combinan con datos obtenidos de procesamiento de imagen para la extracción de características.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

3. Las técnicas basadas en Aprendizaje Profundo DL (del inglés *Deep Learning*) se enfocan en la optimización de algoritmos a partir de una gran capacidad de almacenamiento computacional de datos que facilite una mayor velocidad de procesamiento de información mediante el desarrollo de arquitecturas de aprendizaje profundo con apoyo de redes neuronales artificiales. Se resalta por ser un algoritmo de aprendizaje automático específico en el que las características y el clasificador se aprenden de forma conjunta directamente a partir de datos no estructurados permitiendo que los modelos computacionales aprendan y reconozcan patrones de forma progresiva a partir de datos en múltiples niveles (Zhang et al., 2019).

Figura 7

Esquema Uso de Señales EEG del Imaginario del Habla y su Aplicación Biotecnológica



Nota: El esquema explica las técnicas empleadas para el control de dispositivos BCI empleando el procesamiento de señales EEG en el reconocimiento de la imaginaria de vocales.

Clasificación automática: A pesar de que cada una de las técnicas aquí expuestas presentan diferencias tanto en la precisión de los resultados como el costo computacional requerido para el reconocimiento de patrones, todas emplean un sistema de clasificación que separa en el hiperplano de

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

características los datos que se encuentran agrupados reflejando potencialmente una clase de comportamiento cognitivo evocado, reconociendo y separando de forma diferencial y automática cada grupo o clase, entendiendo clase como las diferentes tareas cognitivas solicitadas, por ejemplo, la clasificación del imaginario de vocales /a/,/e/,/i/,/o/,/u/, empleando algoritmos estadísticos Bayesianos, vecinos próximos K-NN, discriminación lineal LDA, maquinas de soporte vectorial SVM o redes neuronales artificiales entre otras.

Validación del patrón reconocido y aplicación biotecnológica: cuando el clasificador ha conseguido diferenciar con alta precisión un patrón que reconoce y diferencia un comportamiento cognitivo de otros, este debe validarse a través de pruebas experimentales con un tamaño de población mayor, refinamiento del preprocesamiento, procesamiento y extracción de características. Porcentajes de precisión mayores al 70% son aceptables para iniciar una exploración de dicho clasificador en el control de un dispositivo tipo BCI.

Dependiendo del nivel de optimización de los algoritmos de clasificación es posible utilizar la base de datos desarrollada para probar la efectividad sobre el control de dispositivos de acuerdo al tiempo de respuesta y la tasa de transferencia de datos requerida, lo que puede tener diferentes efectos en la aplicación ya sea *offline* ideal para diagnóstico, *online* control de dispositivos robóticos para asistencia o tiempo real aplicado a dispositivos que deben responder con un atraso de 200 a 500 milisegundos.

A continuación, se reportan los principales antecedentes relacionados con reconocimiento de imaginaria de vocales empleando las tres técnicas que incluyen no invasivas *Machine Learning*, invasivas ECoG y arquitecturas DL.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Imaginario del habla de vocales y Machine Learning

Dominio del tiempo (Véase Apéndice 2 Tabla 1): se han reportado en el dominio del tiempo métodos basados en coeficientes autorregresivos (AR), análisis de componentes individuales y principales (ICA y PCA) dirigidos a la clasificación de las sílabas en inglés /ba/ y /ku/ empleando vecinos próximos (K-*nn*) encontrando una precisión que varía entre 46 y 88% (Brigham & Kumar, 2010) registradas en 7 sujetos.

Iqbal, Khan y Farooq(2015) emplearon un análisis mixto en el dominio del tiempo y dominio de la frecuencia en 3 sujetos a partir de la base de datos de DaSalla para clasificar imaginación del movimiento de la boca en inglés /a/,/u/ y reposo, utilizando las características varianza, entropía y energía de la señal en la frecuencia 0,5 a 0,9 Hz, obteniendo una precisión de 77,5 a 100% utilizando un clasificador lineal SVM.

Morooka, Ishizuka y Kobayashi (2018) en 3 sujetos, emplea 8 electrodos ubicados en el lóbulo temporal izquierdo, para el reconocimiento del imaginario de vocales en inglés /a/, /i/, /u/, /e/, /o/ y la acción “silencio” utilizando las características promedio, dispersión, diferencial estándar y asimetría con reducción de características PCA, encontrando una precisión del 79.7% empleando como clasificador SVM.

Ghosh et al. (2019) analiza el reconocimiento del imaginario de vocales en inglés /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/ en 45 sujetos con las características media, desviación estándar (SD), varianza, entropía, amplitud pico a pico, curtosis y potencia de banda con el algoritmo de optimización BGWO (del inglés *grey wolf optimization*), obteniendo un 65% de precisión utilizando como clasificador SVM.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Dominio de la frecuencia (Véase Apéndice 2 Tabla 1): se emplean técnicas como la Transformada Rápida de Fourier (FFT), Densidad Espectral de Potencia (PSD) y centroide espectral, ejemplo de ellos son los trabajos de:

Fujimaki et al. (1994) emplea Eventos Relacionados con el Potencial (ERP) en 8 sujetos con el objeto de mapear actividad relacionada con el imaginario de la vocal /a/ obteniendo al utilizar métodos estadísticos de varianza ANOVA mayor actividad en el canal Fz, relacionado con el área motora suplementaria SMA, para latencias de 360 a 660 ms /a/ y menor actividad en las bandas alfa y beta.

D´Zamora et al. (2009) estudió en 4 sujetos el efecto del imaginario de 2 sílabas para 3 ritmos cerebrales así /ba/,/ku/ y ritmos alfa, beta y teta empleando como características filtro elíptico, filtros pasabanda y transformada de Hilbert confirmando actividad especialmente en la onda beta (13-18 Hz) seguidas de las ondas teta (3-8Hz) y alfa (8-13Hz).

Sarmiento et al. (2014) emplea señales EEG para la identificación del imaginario de vocales abiertas (/ a /, / o /) - medias (/ e /) y cerradas (/ i /, / u /) en 5 sujetos y 21 electrodos distribuidos en el área del lenguaje HI a través de la implementación de un filtro elíptico pasa altas HP 2Hz y pasa bajas LP 50Hz junto con Densidad Espectral de Potencia PSD (2-16 Hz), obteniendo una precisión en la clasificación con SVM de 84% y 94% para vocales cerradas en la banda delta (4 Hz) (12 - 17 - 21) y alfa (10 Hz) (21 - 20 - 14).

Matsumoto y Hori (2014) emplea Eventos Relacionados con el Potencial ERP para identificar actividad relacionada con el imaginario de vocales japonesas /a/,/i/,/u/,/e/, y /o/, obteniendo CA (del inglés *Adaptive Collection*) junto con RVM-L (del inglés *Relevance Vector Machine-Linear*) una precisión del 50%. CA en combinación con RVM-G (G referente a Kernel Gausiano) consiguió una

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

precisión del 75 al 87% y CA en combinación con SVM-G y RVM-G obtuvieron 77% y 79% de precisión respectivamente.

Nguyen, Karavas y Artemiadis (2017) emplearon el método de matrices covarianza junto con el algoritmo de Riemann para el reconocimiento del imaginario del habla de palabras cortas /in/,out/,/up/, palabras largas /cooperate/,/independent/ y vocales /a/,/i/,/u/ en 15 sujetos extrayendo coeficientes de tipo Morlet wavelet, características de bajo nivel y matriz de covarianza, obteniendo mejores tasas de clasificación para las vocales mediante el RVM ($\mu = 49.0$, $\sigma = 2.4$) y con el clasificador ELM ($\mu = 45.2$, $\sigma = 2.3$) (del inglés *Extreme Learning Machine*).

Dominio de tiempo-frecuencia (Véase Apéndice 2 Tabla 1): se emplean técnicas como la transformada de Fourier de corta duración (STFT), transformada wavelet continua (CWT), transformada wavelet discreta (DWT), descomposición de paquete wavelet (WPD), así como la extracción de características dinámicas no estacionarias y no lineales propias de las señales EEG con técnicas como Modo de Descomposición Empírica EMD, WPD y DWT con las cuáles se investiga la optimización de los porcentajes de precisión en la clasificación de características, ejemplo de ello son los trabajos de:

Min et al. (2016) analizaron la imaginación de vocales, /a/, /e/, /i/, /o/, /u/, “silencio” en 5 sujetos coreanos empleando las características: media, varianza, desviación estándar y asimetría en la banda Gamma (30-70 Hz), encontrando una mejor discriminación para las vocales imaginadas /a/ y /i/ con ELM-R en el lóbulo temporal izquierdo.

Manca, De Nunzio y Grimaldi (2016) analizaron la producción abierta OP, cubierta CP e imaginada IP de vocales italianas /a/, /i/ en 12 sujetos mediante ICA en combinación con Componentes Independientes (ICs) y Análisis espectral AF (del inglés *Ambiguity Function*), PSD y maximización de Fisher, obteniendo a través de una red neuronal prealimentada ANN y umbrales de desempeño AUC y

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

ROC para CP 0,83-0,96 e IP 0,89-0,98, presentando mayor actividad en la región posterior para IP, con precisión CP e IP 0,91 y 0,93 respectivamente.

Dominio espacial (Véase Apéndice 2 Tabla 1): emplea técnicas basadas en Patrones Espaciales Comunes (CSP), un método de filtrado espacial que convierte las ondas cerebrales en un espacio único donde se magnifica la variación de un grupo, mientras que se observa una variación menor en el grupo restante, ejemplo de estas técnicas son patrón espacio-espectral común CSSSP (del inglés *Common sparse spatio-spectral patterns*), SBCSP (del inglés *sub-band common spatial pattern*), FBCSP (del inglés *frequency band of CSP*), WCSP (del inglés *wavelet CSP*), RCSP (del inglés *regularized CSP*). En este caso, se destacan los trabajos de:

Callan et al. (2000) emplearon señales EEG para analizar percepción y producción del habla al escuchar, hablar y realizar ensayo mental (MR) de las vocales /a/, /i/, /u/ en 7 sujetos (4 Japón, 2 USA y 1 Brasil) empleando la frecuencia Gamma 30-50 Hz en combinación con ICA e ICs para potenciales evocados auditivos (AER) y respuestas de planificación del habla (SPR) utilizando una comparación entre la media del factor de mejora (EHF) de producción del habla (SP) vs ensayo mental (MR), encontrando que el IC8 fue el más activo y corresponde al área de Broca consiguiendo distinguir entre SP y MR en el modo AER.

Riaz et al., (2014) emplea 2 sujetos para analizar en 4 grupos (G1) la imaginación de vocales /a/, /u/ o control, (G2) vocales habladas, (G3) HI y (G4) vocales imaginadas a partir de CSP como técnica de preprocesamiento y MFCCs (del inglés *Mel Frequency Cepstral Coefficients*) para la extracción de características junto con un clasificador de tipo SVM, K-nn y modelos de Markov de Hidden (HMM) para el reconocimiento del imaginario de vocales, encontrando mejor clasificación binaria /a/,/i/ y /e/,/u/ con

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

precisión de 75% para el sujeto uno S1 y 68% para el sujeto dos S2 con MFCC relacionando las Áreas de Broca y Wernicke.

DaSalla et al. (2009) analiza el imaginario del habla de vocales en inglés /a/ y /u/ y en silencio con 3 sujetos empleando potenciales relacionados con el habla SRP y CSP, obteniendo una precisión con SVM-L tipo ensayo único de 68% a 78%, reportando la mejor combinación /u/ y control, seguida de /a/ y control en los 355 ms sobre el hemisferio izquierdo (HI).

Ghane, Hossain y Tovar (2016) emplearon 21 electrodos sobre el área de Broca y Wernicke para reconocer actividad de vocales imaginadas en español /a/, /e/ con 10 sujetos colombianos mediante PCA en combinación con análisis por matriz de covarianza y descomposición de soporte vectorial SVD, determinando que PCA no ofrece una solución óptima a diferencia de RPCA que se comportó ligeramente mejor.

Coretto, Gareis y Rufiner (2016) utilizaron 6 electrodos en 15 sujetos argentinos para reconocer el imaginario de vocales en español /a/, /e/, /i/, /o/, /u/ y 6 palabras a partir de ICA y filtro FIR con transformada discreta Wevelet (DWT) en 5 niveles y Daubechies 4 con energía relativa wavelet (RWE) consiguiendo una tasa de reconocimiento vocales de 22,32 ($\pm 1,81$) con clasificación de bosque aleatorio RF (del inglés *Random Forest*).

Agarwal et al. (2020) utilizan los electrodos Fz, C3, Cz y C4 para reconocer el imaginario de vocales en inglés /a/, /u/ y /rest/ en 3 sujetos a partir de CSP, CSP y estimaciones estadísticas, CSP y Wavelet, CSP combinado con Wavelet y estimadores estadísticos (SD, RMS y energía EEG) obteniendo la máxima precisión en la onda delta con 91% y teta con 89% empleando el clasificador RF.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Corrientes Corticales (Véase Apéndice 2 Tabla 1): combina técnicas de imagen con alta resolución espacial como fMRI y señales cerebrales de tipo EEG para una alta resolución temporal, identificando los trabajos de:

Yoshimura et al., (2011) quienes estimaron las corrientes corticales de varias zonas del cerebro mediante el procesamiento de las señales de EEG tomadas de tres sujetos sanos cuando estaban pensando en tres tareas mentales diferentes: pensar en hablar las vocales /a/ y /u/, y un estado de control donde el sujeto no imaginaba nada. Estimaron miles de corrientes inversas corticales utilizando un método Bayesiano jerárquico en el que su problema opuesto se resolvió utilizando los datos de resonancia magnética funcional (fMRI) como una prioridad jerárquica. Para clasificar automáticamente utilizaron una regresión logística dispersa con una aproximación de variación (SLRVAR). La tasa de clasificación media obtenida con corrientes corticales fue de 61,2% mejor en comparación con el 49,9% utilizando sensores de EEG.

El trabajo de Yoshimura (2016) analiza el reconocimiento de la articulación encubierta para las vocales japonesas /a/ e /i/ en 10 sujetos japoneses a partir de datos obtenidos con fMRI, corrientes corticales y 30 sensores EEG, este estudio contó con un toolbox para identificar regiones anatómicas de vértices corticales (SPM8) junto con el efecto de la amplitud actual de cada vértice (VBMEG) e imágenes ecoplanares (EPs) con 2 hiperparámetros, los resultados de clasificación con SLR reportaron mayor precisión ccEEG en el giro frontal medio MFG izquierdo (BA46) giro frontal inferior IFG derecho (BA47), córtex premotor PM izquierdo (BA6) y giro temporal inferior ITG izquierdo (BA20).

Imaginario del habla de vocales y ECoG

La electrocorticografía ECoG ha permitido mapear con alta precisión el procesamiento del habla, delimitando la fuente anatomofisiológica de los procesos de percepción como de producción del

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

lenguaje, dada la resolución espacial y temporal que esta técnica ofrece (Véase Apéndice 2 Tabla 2). Sin embargo, es reducido el número de personas en cada estudio, así como la condición en la que se encuentra cada paciente como para establecer fuertes generalizaciones, se destacan los siguientes trabajos:

Brumberg et al. (2011) realizan una clasificación supervisada del imaginario de 38 fonemas en inglés de vocales, consonantes monoptongas y diptongas en un sujeto con síndrome LIS a quien se le realizó un implante de microelectrodos en el giro precentral izquierdo, cortex motor primario y premotor, de donde se extrajeron las características amplitud de pico/valle, altura, energía y amplitud en el punto de alineación de la espiga obteniendo una precisión con el clasificador LDA del 16 al 21% para 24 de 38 fonemas con el imaginario de sonidos de vocales posicionando la lengua al frente con mayor actividad en el córtex motor izquierdo.

Ikeda et al. (2014) desarrollan modelos de aprendizaje automático para decodificación neural de la representación auditiva con articulación encubierta de 3 vocales en japoneses /a/, /i/, y /u/ en 4 sujetos con epilepsia intratable a quienes se les implantaron microelectrodos ECoG en las regiones frontal, temporal y parietal del HI, 1 sujeto en la amígdala e hipocampo anterior y posterior. La extracción de características contó con la técnica de Electro-estimulación ESM, Registro de banda gama alta ECoG y FFT empleando análisis de espectro de potencia z-scores reconociendo mayor actividad en el área motora primaria, corteza premotora y STG al usar el clasificador lineal LIBSVM, con precisión de 42,2 al 46,7% (nivel de probabilidad del 33,3%), señalando que en las áreas de Broca no presenta diferencias significativas, debido a la secuencialidad fonética dado que esta área reproduce en la producción motora fonemas, por lo que es más fácil el reconocimiento de palabras simples.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Brumberg et al. (2016) reportan el reconocimiento neural de la evolución espacio-temporal del habla continua y encubierta durante la lectura de texto en voz alta e imaginada en silencio (encubierta) sin subvocalización en 8 sujetos con epilepsia intratable empleando implantes de microelectrodos ECoG con 16 electrodos en el lóbulo temporal y 1 sujeto en el lóbulo frontal con el uso de Filtro CAR, FIR 116–124 Hz y 70–170 Hz y la Transformada Hilbert, consiguiendo a partir de análisis estadístico junto con la tasa de descubrimiento falso FDR y coordenadas de Talairach, áreas activadas en la corteza auditiva, áreas ventrales premotoras y motoras primarias, campos oculares frontales (FEF) y la corteza prefrontal dorsolateral (DLPFC).

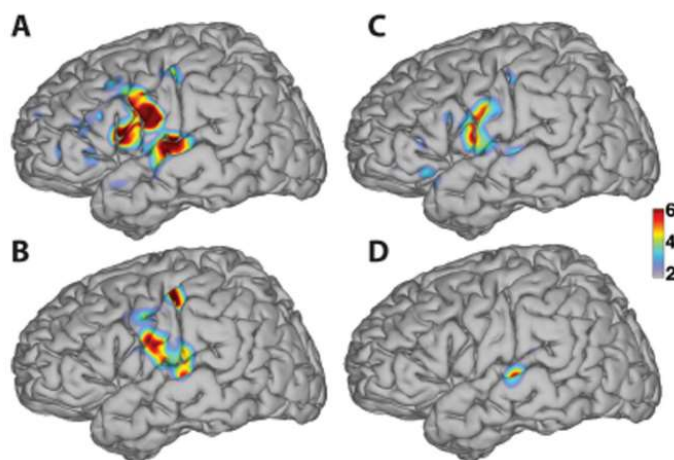
Pei et al., (2011) realizan un análisis de discriminación de vocales y consonantes habladas e imaginadas organizadas en 36 palabras de manera abierta y encubierta con monosílabos CVC, _V_y C_C (C=Consonante, V=Vocal) combinadas con las vocales /e/, /i/, /u/ en 8 pacientes con epilepsia intratable mediante el uso de DTF y Transformada de Talairach, CAR, modelo AR y bandas 8–12 Hz, 18–26 Hz, y 70–170 Hz, obteniendo con dos clasificadores de tipo MRMR y Bayesiano una precisión de $37.5 \pm 5.9\%$ (articulación encubierta) en los sujetos 5 y 6, $p < 0.007$ con actividad en la región premotora, Broca y Wernicke, siendo la vocal /u/ la más discriminante.

El modelo de procesamiento del habla propuesto por Hickok y Poeppel (2012) (Véase Figura 5), es confirmado con métodos invasivos practicados por Bouchard y Chang, (2014), Pei (2011), Brumberg (2011, 2016) e Ikeda (2014) indicando el efecto de una corriente ventral dedicada a la percepción y comprensión del lenguaje, al mapear representaciones sensoriales o fonológicas en representaciones **conceptuales-léxicas**, y el efecto de una **corriente dorsal**, que mapea representaciones sensoriales o fonológicas en representaciones motoras articulatorias hacia el lóbulo frontal que incluyen las áreas de Brodmann 6, 44 y 8 (Véase Figura 8).

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 8.

Mapa Cortical Comparativo del Imaginario del Habla de Vocales y Consonantes vs Pronunciación del Habla



Nota: Se discrimina mediante codificación por colores la actividad cortical durante el imaginario del habla de vocales o consonantes y el habla gesticulada, respectivamente. Los patrones corticales codificados por colores (ver barra de colores) muestran las ubicaciones con el mejor rendimiento de decodificación y se superpusieron para todos los sujetos del hemisferio izquierdo (7 para el habla real y 6 para el habla imaginaria, respectivamente). El color proporciona puntuaciones z que indican cuánta mejor precisión en la ubicación respectiva se comparó con el azar (valor p: 0,0023 con una puntuación z de 2). A y B: Mapas discriminativos para decodificar vocales y consonantes durante la repetición abierta de palabras. C y D: Mapas discriminativos para decodificar vocales y consonantes durante la repetición encubierta de palabras. Tomado de (Pei et. al. 2013, pág 15).

El modelo de producción del habla sustenta que el proceso de habla encubierta o imaginada subyace en la corriente dorsal, superpuesta a la ventral, que conecta de forma bidireccional la red articularia con la interface sensoriomotora del hemisferio izquierdo (HI), relacionado con la circunvolución frontal posterior-inferior pIFG, corteza premotora PM, insula anterior y el límite parietotemporal (área Spt respectivamente) (Véanse Figuras 5, 6 y Apéndice 1 link 2), como efecto de la asociación del procesamiento **léxico-conceptual** y fonológico, así como sus redes combinatorias.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Estas evidencias han intensificado las investigaciones del imaginario del habla sobre el hemisferio izquierdo (HI) empleando una configuración de electrodos no invasiva EEG contrastando significativamente con los lugares de actividad reportados en trabajos que utilizan técnicas invasivas como ECoG (Véase Figura 8) entre las áreas sensoriomotora y de Broca de la región frototemporal (Véanse Figuras 5 y 6).

Imaginario del habla de vocales y Aprendizaje Profundo

En relación al aprendizaje profundo DL (del inglés *Deep Learning*) (Véase Apéndice 2 Tabla 3), se destacan los trabajos de:

Sarmiento et al., (2021) desarrollaron una arquitectura basada en *Deep Learning* denominada CNNeeg1-1 para el reconocimiento de la imaginaria de vocales /a/, /e/, /i/, /o/, /u/. Los resultados fueron validados con algoritmos previamente implementados como Shallow CNN and EEGNet, a través de dos bases de datos una pública con 15 sujetos (DB1) y otra privada con 51 sujetos (DB2) hispanohablantes. El desempeño se evaluó a través de análisis mixto de varianza inter e intrasujetos. Los resultados indicaron una precisión para CNNeeg1-1 del 65.62% para la base de datos DB1 y 85.66% para la base de datos DB2, muy superior a los resultados obtenidos por las otras arquitecturas DL.

Villamizar (2019) analiza la eficiencia de reconocimiento de en señales EEG del imaginario del habla para el imaginario de vocales en español /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/ y sílabas /fa/, /pe/, /mi/, /lo/, /ru/ y palabras a partir de dos bases de datos neurofisiológicas NDB con 21 electrodos activos y una base de datos con 14 electrodos en 20 sujetos a través de 4 métodos.

El primer método utiliza la técnica de descomposición de vector singular (SVD) para extraer las características discriminatorias que luego son clasificadas por un árbol extremadamente aleatorizado

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

(ET) logrando una precisión general para el clasificador de cinco clases de $0,79 \pm 0,07$ utilizando la base de datos de Neurofisiología - (NDB).

El segundo método utiliza una combinación de un modelado no paramétrico llamado splines de regresión adaptativa multivariante (MARS) con una técnica de reducción dimensional de máxima relevancia, mínima redundancia común (mRMR), para obtener los vectores de características que luego son etiquetados por un clasificador Adaboost obteniendo una puntuación de precisión promedio de $0,84 \pm 0,03$ y $0,77 \pm 0,04$ para la ET utilizando la base de datos KARA ONE en un clasificador de cinco clases.

El tercer método combina el valor de bloqueo de fase (PLV) para la extracción de características con el análisis discriminante lineal (LDA) como técnica de reducción dimensional para aumentar la discriminabilidad. El algoritmo utiliza la ET para clasificar los datos. La implementación de la tercera propuesta entrega una metodología ligera, adaptativa y flexible, que logra una precisión promedio de 0.86 ± 0.04 en un clasificador de cinco clases con bajo tiempo de procesamiento utilizando la Base de Datos de Diciembre (DDB).

El cuarto método tiene como objetivo combinar en una pseudoimagen con información espacial, de frecuencia y de tiempo que luego se discrimina mediante una red neuronal convolucional CNN. Los mejores datos los reporta un sujeto con una precisión promedio de 0.51 ± 0.045 en un clasificador de cinco clases usando como entrada la base de datos DDB. En forma general los mejores resultados obtuvieron una precisión ET del 79 % con la base de datos NBD y PLV con 86% y la base de datos NDB.

Desafíos en el reconocimiento del imaginario de vocales con señales EEG

A pesar de los avances en el reconocimiento de patrones, se ha encontrado una dificultad para procesar y clasificar el imaginario del habla con señales EEG, debido especialmente a la sobreposición de

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

los procesos de percepción y producción del habla en las vías ventral y dorsal respectivamente, lo que conlleva a una alta variabilidad de la bioseñal dependiente tanto de la tarea cognitiva, el riguroso proceso de entrenamiento para controlar el efecto de la atención y el efecto del estímulo de inicio de la tarea, el cuál genera un efecto que podría sobreponerse al efecto cognitivo que se rastrea en el procesamiento del lenguaje ya sea auditivo o visual (Chengaiyan, Retnapandian & Anandan, 2020; Chi et al., 2011; D'Zmura et al., 2009; DaSalla et al., 2009; Min et al., 2016; Nguyen, C. H.; Qureshi et al., 2017; Riaz et al., 2014; Yoshimura et al., 2011).

Los antecedentes presentados manifiestan una insuficiencia en el tamaño de la muestra, falta de claridad en un método estándar para el uso de electrodos y la fuente espacial de las señales de habla imaginada emitidas en el córtex y neocórtex cerebral, variabilidad en las técnicas de adquisición y características espectrales de las bioseñales intra e intersujetos que dificulta la identificación de un patrón oro o estándar, así como, la falta de estandarización en la configuración de las bases de datos de acceso públicos y/o privados.

Lo anterior indica un verdadero desafío el reconocer patrones del habla imaginada de forma estable y generalizada con precisiones superiores al 90% y potencial para su uso en el control de BCIs en tiempo real o la identificación de alteraciones cognitivas relacionadas con el procesamiento del lenguaje. A esto se suma, la falta de claridad explicativa sobre la forma en que se da el procesamiento del habla imaginada y su potencial en el campo del procesamiento del lenguaje humano (Poepfel, Idsardi & Van Wassenhove, 2008).

Un argumento que puede explicar la variabilidad de los datos obtenidos para los antecedentes reportados incluye la influencia de los datos por variables asociadas, tales como, el sexo, el neurodesarrollo de cada individuo y/o el contexto en que se dio el aprendizaje de habilidades

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

comunicativas que condicionó el estilo cognitivo y sus efectos sobre el aprendizaje. Las condiciones inatas y del entorno podrían estar relacionadas con poblaciones neurales específicas ocultas en procesos cognitivos de alto nivel que podrían influenciar la manera en que se procesa la información dado a que serían redes neuronales altamente conservadas, pero también moldeables de acuerdo al entrenamiento.

En este sentido, la presente investigación propone analizar el supuesto que, características diferenciales de los sujetos cuando procesan información podrían estar relacionadas con comportamientos neurofisiológicos estereotipados y focalizados que podrían comportarse como un bioindicador cuantitativo de procesos cognitivos tan complejos como son los estilos cognitivos y de aprendizaje. Esta investigación propone la existencia de una asociación entre la señal EEG emitida en tareas relacionadas con el procesamiento de información durante la producción del habla imaginada de vocales en el hemisferio izquierdo (HI) con el estilo cognitivo en la dimensión dependencia-independencia de campo DIC, cuyo comportamiento refleja habilidades en el procesamiento de información basadas en la manera en que analiza, percibe y se relaciona el individuo de acuerdo a las condiciones del entorno. (Evans, Richardson, & Waring, 2013; Kozhevnikov, 2007).

En este sentido, el uso de señales EEG para el reconocimiento del imaginario de vocales podría ser una herramienta potencial de diagnóstico cuantitativo de estilos cognitivos de aprendizaje, con implicaciones en el logro académico a partir del diseño de propuestas educativas ya sea en el camino de la modificabilidad cognitiva o la diferenciación de intervenciones pedagógicas pertinentes al estilo cognitivo. Los antecedentes que apoyan la relación entre la señal EEG con los estilos cognitivos se presentan a continuación.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Estilo Cognitivo DIC y Señales EEG

Los estilos cognitivos se definen como modos de adaptación relativamente estables y autoconsistentes que median las formas en que los individuos procesan la información (Brodzinsky, 1982). Por tanto, los estilos cognitivos representan heurísticas que los individuos utilizan para procesar información sobre su entorno y resolver problemas a partir de la experiencia (Kozhevnikov, 2007). Estas heurísticas pueden identificarse en múltiples niveles de asociación cognitiva tales como procesamiento de la información, percepción, memoria, atención, dominancia periférica e inclusive procesamientos metacognitivos entre otros, y pueden agruparse según el tipo de función reguladora que ejercen en procesos que van desde la codificación automática de datos hasta la asignación ejecutiva consciente de recursos cognitivos.

Varios estudios reportados en la revisión realizada por Kozhevnikov (2007) demostraron una estrecha conexión entre el constructo de estilo cognitivo definido por Tennant (1988), la teoría de la diferenciación formulada por Witkin et al., (1962) y evidencias neuropsicológicas previamente descritas. Se resaltan correlaciones entre áreas cerebrales específicas como el lóbulo frontal y los procesos de metacognición y autorregulación, el área de Wernicke, lóbulo occipital y el hemisferio izquierdo (HI) para verbalizadores-visualizadores; la especialización hemisférica para manejo de la información musical y el hemisferio derecho (HD); el análisis de coherencia, amplitud y latencia del ritmo alfa, indicando simetría interhemisférica en sujetos dependientes de campo (DC) a diferencia de los independientes de campo (IC) quienes muestran una disminución de dicha actividad en el HI durante el reposo; así como, la actividad inhibitoria en sujetos IC al filtrar información irrelevante en pruebas de figuras enmascaradas EFT (del inglés *Embedded Figures Test*), entre otras evidencias.

De acuerdo a Huteau (1987) entre los estilos cognitivos más estudiados se encuentra la dimensión Dependien-Independencia de campo DIC, debido a que se manifiesta en la mayoría de los

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

dominios psicológicos con una alta coherencia, entendiendo esta como una medida del grado de sincronía que presentan dos o más regiones del cerebro respecto a sus respectivos valores de frecuencia durante un periodo de tiempo. Adicionalmente, la dimensión DIC permite tanto la discriminación cualitativa usando instrumentos de medición para su categorización como la evaluación del efecto directo sobre la obtención del resultado de aprendizaje (Angeli & Valanides, 2013; López & Sanabria, 2014).

En este sentido, la dimensión DIC propuesta por Witkin y Lewis (1954) se caracteriza por la forma en que los individuos extraen y procesan información del contexto en forma bipolar, por un lado, los individuos con percepción de campo dependientes (DC), tienden a procesamientos de tipo global influenciados por el contexto, mientras los sujetos con percepción de campo independientes (IC), tienden a procesamientos de tipo analítico, sin considerar los factores contextuales (Valencia y López, 2012). No obstante, recientemente se ha reportado la existencia de una zona intermedia de percepción que comparte características de ambos extremos, a los sujetos en esta zona se les denomina intermedio de campo (IntC) (Liu & Reed, 1994; López et al., 2014).

Contrastando entonces los hallazgos neurofisiológicos reportados sobre imaginaria del habla de vocales con señales EEG y la dimensión DIC, se puede determinar una aparente relación inicial basada en diferencias interhemisféricas, dado el nivel de especialización encontrado en el hemisferio izquierdo (HI) y el procesamiento del lenguaje. Kozhevnikov (2007) identifica al respecto, dos enfoques de la organización cerebral y el estilo cognitivo DIC, el primero identifica las áreas del cerebro implicadas en la dimensión DIC a nivel perceptual selectiva al intentar responder a la pregunta *¿difieren los sujetos en la dimensión DIC en los patrones de activación característicos de sus hemisferios cerebrales?*, el segundo enfoque examina las posibles diferencias entre sujetos extremos DC e IC con respecto a la asimetría

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

funcional de los hemisferios cerebrales a partir de la pregunta *¿difieren en el grado o la dirección de lateralización hemisférica de funciones específicas los sujetos en la dimensión DIC?*.

De acuerdo a los dos enfoques señalados por Kozhevnikov (2007) se han determinado tres categorías de antecedentes donde se evidencia la relación entre la actividad diferencial y localizada de los estilos cognitivos en la dimensión DIC a través de señales EEG: 1. Localización cerebral de los procesos involucrados en dimensión DIC, 2. Evaluación de la relación entre la dimensión DIC y hemisfericidad., 3. Evaluación de la relación entre la dimensión DIC y la diferenciación hemisférica, la cual incluye: a. Dimensión DIC con dominancia periférica y b. Lateralización de funciones asociadas a uno de los hemisferios cerebrales.

Localización cerebral de los procesos involucrados en la dimensión DIC

Falcone, Smith y Given (1980) fueron los primeros en evaluar el área del cerebro implicada en la dimensión DIC con sujetos saludables contrastando con la prueba EFT. Los resultados del equipo de Falcone indicaron mejor desempeño sobre el campo visual derecho al elegir una figura simple enmascarada en una compleja, lo cual indicó una ventaja de procesamiento del hemisferio izquierdo (HI), aunque no obtuvieron los mismos resultados al emplear la prueba EFT grupal o GEFT debido a que miden procesos cognitivos diferentes.

Subsecuentes estudios se basaron en rastrear la dimensión DIC empleando técnicas de procesamiento como ERP (del inglés *Event Related Potential*) para evaluar la latencia de respuesta durante el procesamiento de la información, como resultado se han mapeado sustratos neuroanatómicos tales como segmentos 9, 10, 11 y 12 de Brodmann en el lóbulo frontal, referenciadas como áreas de "asociación" (Federico, 1984; Goldman-Rakic & Schwartz, 1982; Grossman, 1967). Ejemplo de ello son los trabajos de Kahapi (1987) con el reconocimiento de colores-palabras a partir del

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

componente P300, Goode, Goddard y Pascual-Leone (2002) con la relación memoria de trabajo y la inhibición de la atención, así como los trabajos de Riding et al., (1997) quienes señalan variaciones diferenciales en la señal EEG correspondiente a la frecuencia alfa para estilos cognitivos holista-analítico y verbal-imaginario. Los antecedentes con resultados más significativos desde el enfoque localizacionista se presentan a continuación (Véase Apéndice 3 Tablas 1, 2 y 3).

Imanaka, Kakigi y Nakata (2017) investigaron la relación entre el estilo cognitivo en la dimensión DIC y los potenciales relacionados con eventos ERP durante la exposición a estímulos Go / No-go auditivos de 1500 y 1000 Hz a 65 dB y somatosensoriales de tipo impulso eléctrico en el 2o y 5o dedo de la mano izquierda en 21 mujeres diestras. El análisis de los datos incluyó el registro EEG en los electrodos z, Cz, Pz, C3, y C4; los estímulos auditivos Go / No-go se registraron en amplitudes máximas y las latencias de N100 y P300 para intervalos de 75-125 y 240-500 ms respectivamente. En los paradigmas somatosensorial Go / No-go, las amplitudes máximas y las latencias de N140 y P300 se midieron a 120-230 y 240-500 ms respectivamente a lo que se adicionó un análisis de varianza tipo ANOVA (Véase Apéndice 3 Tabla 3).

Los resultados evidenciaron que los tiempos de reacción durante los paradigmas auditivos Go / No-go fueron significativamente más tempranos en el grupo IC que en el grupo DC, las variabilidades de respuesta y errores de omisión fueron significativamente menores en el grupo IC que en el grupo DC. Las amplitudes de Go-P300 y No-go P300 fueron significativamente mayores en el grupo IC al contrastarlo con el grupo DC, lo que sugiere que el grupo IC exhibió una mayor actividad neuronal para el procesamiento ejecutivo e inhibitorio de la respuesta. Por otro lado, no se observaron diferencias significativas en las amplitudes o latencias de los componentes auditivo N100 y somatosensorial N140 entre los grupos IC y DC, lo que sugiere que las actividades neuronales relacionadas con la audición y estímulos somatosensoriales no correlacionan con los estilos cognitivos de la dimensión DIC.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Conclusiones similares fueron reportadas por Jia, Zhang y Li (2014) al relacionar la eficiencia de filtrar información irrelevante en una tareas de memoria de trabajo visual y atención selectiva, favoreciendo a los IC sobre DC (Véase Apéndice 3 Tabla 2).

Farmaki et al., (2019) evaluaron las capacidades cognitivas en la dimensión DIC a través del procesamiento de la percepción biestable basado en señales EEG de 31 sujetos a quienes se les aplicaron pruebas de percepción visuoespacial y creatividad, esta última usa el test TTCT (del inglés *Torrance Test of Creative Thinking*). Las tareas consistían en pruebas de percepción ambigua que incluye una fase de entrenamiento y una fase de prueba, desempeño visuoespacial en la dimensión DIC, y desempeño de creatividad indicando manualmente el tiempo de la inversión presionando un botón. El registro de señales EEG incluyó los electrodos en el HI (Fp1, F7, FC1, C3, T7, CP1, CP5, TP9, P3, y O), del HD (Fp2, F8, FC2, C4, T8, CP2, CP6, TP10, P4, y O2), y de la línea media (Fz, Cz, CPz, y Pz). Los ERP se sincronizaron al inicio y final del estímulo presionando un botón. El trabajo consideró 12 características entre ellas la amplitud y latencias de las banda gama baja (26–40 Hz) y alfa (8–13 Hz). Los resultados evidenciaron una tendencia a la amplitud máxima de la positividad frontoparietal, tanto como una deflexión positiva tardía en las áreas frontal y parietal manifestada en mayor medida para el grupo IC en ubicaciones específicas del lóbulo izquierdo, mientras que ocurre más tarde en el grupo DC con electrodos central y occipital (Véase Apéndice 3 Tabla 3).

Evaluación de la relación entre dependencia-independencia de campo y hemisfericidad

La hemisfericidad se define como una tendencia individual hacia el uso preferencial de los procesos asociados con uno u otro hemisferio cerebral (Bradshaw & Nettleton, 1981; Hellige & Kee, 1990; Minagawa & Kashu, 1989). En esta línea, Bakan (1971) propuso el uso de movimientos oculares laterales como indicador de la activación hemisférica, a razón de asociaciones observadas durante el desempeño en tareas verbales con los movimientos laterales de los ojos, los cuales tendían a

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

desplazarse hacia la derecha, mientras que las tareas espaciales estaban asociadas con los movimientos hacia la izquierda (Véase Apéndice 3 Tabla 4).

Bakan (1971) afirma que, la actividad hemisférica derecha conduce a un movimiento ocular hacia la izquierda y viceversa, en patrones estables interindividuos con respecto a la activación preferencial de uno u otro hemisferio o los mecanismos de defensa, sugiriendo una correspondencia entre la dirección característica de un individuo de los movimientos oculares laterales y la dependencia del campo. Sin embargo, varios estudios (Barnat, 1974; De Witt & Averill, 1976; Hoffman & Kagan, 1977; Schroeder, Eliot, Greenfield & Soeken, 1976; Shevrin, Smokler & Wolf, 1979), que reportaron análisis de rendimiento de la prueba EFT y movimientos oculares laterales, señalaron que no hay diferencias relacionadas con la hemisfericidad en el estilo cognitivo. De la misma forma, estudios paralelos sobre percepción de la verticalidad entre "los que se mueven a la izquierda" y los "que se mueven a la derecha" no evidenciaron diferencias significativas (Pierro & Goldberger, 1982; Shevrin, et al., 1979) (Véase Apéndice 3 Tabla 4).

Adicionalmente, el equipo de trabajo de Oltman et al., (Oltman, Semple & Goldstein 1979; Semple, Oltman, y Goldstein 1979) analizaron las correlaciones que hay entre el estilo cognitivo y la diferenciación interhemisférica empleando señales EEG. En una primera aproximación se dispuso de 17 sujetos, 9 de ellos clasificados como DC y 8 como IC mediante la prueba EFT y RFT. Este grupo desarrolló 4 tareas de aritmética, una de reconocimiento facial y de palabras abstractas, así como de observación de video con colores y figuras abstractas con ojos abiertos y cerrados. Para el análisis de los datos se estimó la correlación por amplitudes HI en contraste con HD para el lóbulo occipital y temporal junto con un análisis de varianza ANOVA. Los resultados evidenciaron que dichas variaciones en las amplitudes del HD o HI a lo largo del tiempo fueron más similares entre los sujetos DC que entre el grupo IC (Véase Apéndice 3 Tabla 4).

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En un segundo estudio, se analizó la correlación de la amplitud en la asimetría EEG relacionada con el estilo cognitivo DIC, esta vez en 9 sujetos DC y 8 IC, todos pertenecientes al género masculino y diestros con las mismas tareas. El análisis de los datos incluyó amplitudes integradas EEG, varianzas y radios R/L sobre el lóbulo occipital y temporal. Partiendo de evidencias en que sujetos DC muestran alta activación en HI y sujetos IC muestran alta activación en el HD con tendencia a una mayor habilidad espacial, se logró establecer que personas con gran habilidad espacial muestran un balance "tónico" de la amplitud EEG favoreciendo la activación del HD en todos los experimentos a diferencia de aquellos con patrón de activación reversa.

De forma general, Kozhevnikov (2007) señala, que si bien parece haber una relación entre la IC, DC y hemisfericidad, esta no es tan evidente. Los sujetos IC han mostrado una tendencia hacia el uso preferencial del HD, mientras que los sujetos DC no han mostrado ninguna tendencia clara. Algunos autores han sugerido que el uso preferencial de un hemisferio para una determinada tarea eventualmente conducirá a un mejor desempeño con ese hemisferio en esa tarea (Shedletsky, 1990).

Evaluación de la relación entre dependencia-independencia de campo y diferenciación hemisférica

Con base a la teoría de la diferenciación propuesta por Witkin et al., (1962) y la perspectiva neurofisiológica que infiere una progresiva especialización de diferentes partes del cerebro para variadas funciones durante el desarrollo, y al establecimiento de dominancia periférica (Palmer, 1974; Reuchlin, 1987), surgió la pregunta *¿existe correspondencia entre la diferenciación psicológica y neurofisiológica?*, a lo que el equipo de Witkin denominó la segregación neurofisiológica o especialización hemisférica, como un indicador de diferenciación.

Witkin et al. (1954) fueron los primeros en publicar datos a este respecto, informando una mayor DC entre los sujetos siniestros de su muestra. Estudios de aislamiento sensorial de Culver et al.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

(1964) y estudios con estimación de estilo cognitivo utilizando la prueba de varilla y marco por Silverman, Adevai y McGough (1966) corroboraron dichas observaciones con excepción de Berent y Silverman (1973) (Véase Apéndice 3 Tabla 5). Sin embargo, el análisis de dominancia mano, ojo y pie, han evidenciado una relación estable entre el grado de lateralidad y la dimensión DIC, especialmente con los sujetos IC quienes tienden a mostrar una mayor lateralidad (Oltman & Capobianco, 1967; Palmer, 1974; Pizzamiglio, 1974).

Hellige (1990) obtuvo datos sobre la lateralización del habla en sujetos diestros y siniestros, encontrando que el 95% de los sujetos diestros presentaba dominancia del HI para el habla y el 5% dominancia del HD, mientras que en el caso de los sujetos siniestros, el 62% mostró dominio del HI y el 19% en el HD, tan solo el 19% mostró representación bilateral. De esta manera, la correspondencia entre la dimensión DIC y el dominio periférico proporcionó una primera aproximación a la diferenciación hemisférica desde la perspectiva neurofisiológica y psicológica.

Bajo estas perspectivas Kozhevnikov (2007) propone dos subcategorías en función de los aportes que señalan por un lado la dimensión DIC con la dominancia periférica y por otro, la lateralización de funciones asociadas principalmente con uno de los hemisferios cerebrales como se describe a continuación

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Dimensión DIC con dominancia periférica. Los estudios de dominancia periférica parten del supuesto en que los sujetos podrían manifestar actividad cerebral con dominancia interhemisférica a partir de tareas que podrían estar estrechamente relacionadas con preferencias que habrían desarrollado los sujetos profundamente ligados con los estilos cognitivos manifestados en la forma en que perciben, resuelven problemas, toman decisiones, desarrollan habilidades artísticas o analíticas e inclusive establecen estrategias de memoria en procesos de lecto-escritura, entre otros (Véase Apéndice 3 Tabla 5).

En relación a la percepción visual y táctil, Falcone (1985), Hannay (1976) y Manning y Fernández-Ballasteros (1985) reportaron resultados en relación a la percepción de forma mediante la representación taquistoscópica de estímulos visuales y electroestimulación sensorial. En ambos casos, de manera similar al reconocimiento facial, los sujetos DC e IC mostraron comportamientos opuestos, lo que puede deberse a una tendencia en los sujetos a utilizar diferentes estrategias en la resolución de problemas (Longoni, et al., 1980; Zoccolotti & Pizzamiglio, 1986). Una evidencia al respecto la aporta Proudfoot (1983) quien desarrolló la prueba de reconocimiento facial en dos fases que incluyen juicios “sociales” y “físicos”, siendo precisamente el juicio social dominado por el HI y el físico por el HD en sujetos IC, a diferencia de los sujetos DC quienes no mostraron diferencias significativas entre hemisferios para ninguno de los juicios.

Schkade y Potvin (1981) analizan la relación entre la elección de ocupación y la señal EEG dominante interhemisférica con el estilo cognitivo en la dimensión DIC con 12 estudiantes de contabilidad y 12 de arte basados en la diferenciación holística-analítica. Los sujetos en este estudio realizaron 5 tareas cognitivas durante las cuáles se obtuvo la señal alfa (8 a 13Hz) como indicador de potencia de onda EEG interhemisférica, junto con el análisis de promedios por individuo y por grupos. Los resultados obtenidos correlacionaron al lóbulo temporal y occipital como discriminantes para

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

estudiantes de contabilidad cuya tendencia fue la de activación de HI y un estilo cognitivo IC, mientras que los estudiantes de arte manifestaron mayor actividad en el HD y un estilo cognitivo DC. Fernández-Ballesteros y Manning (1985) en este sentido, identificaron una mayor especialización hemisférica en sujetos IC en comparación con sujetos DC en tareas de escucha dicódica basadas en reconocimiento de melodías.

En línea con los estudios mencionados, McKay, Fischler y Dunn (2003) investigaron la relación entre el estilo cognitivo y el recuerdo de texto empleando señales EEG en 45 sujetos de ambos sexos mediante la prueba de diferenciación "analítico" y "holístico" en tareas de representación verbal, conceptual, versus la imaginería y las formas visuoespaciales, empleando textos expositivos con diferentes niveles de complejidad y poesía (Los niveles 1 y 2 representaron información esencial o superior, y los Niveles 3 y 4 representaron información subordinada o "detallada"). La configuración de electrodos se estableció en pares laterales (Fp1– Fp2, F7 – F8, F3 – F4, T3 – T4, C3 – C4, T5 – T6, P3 – P4, O1 – O2) y tres electrodos de línea media (Fz, Cz, Pz). El registro se realizó con ojos abiertos encontrando correlaciones con menos del 20% de la varianza en el recuerdo de textos, a pesar de la premisa que indica una actividad alfa más baja relacionada con un estilo más analítico o dominancia del HI para tareas que involucran procesos verbales/lingüísticos, tanto como dominancia del HD para procesos visuales/espaciales, lo que en este trabajo no evidenció diferencias significativas.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Lateralización de funciones asociadas con uno de los hemisferios cerebrales. Para analizar la asociación de funciones a uno de los hemisferios cerebrales se plantearon estrategias basadas en la estimulación sensorial visual y verbal, esta última mediante actividades de comprensión oral, repetición con nominación, dominancia de miembros superiores, análisis de lateralidad por coherencia EEG durante tareas analíticas, escucha dicódica, respuesta de género y percepción de formas, líneas o puntos evidenciando una marcada especialización en sujetos IC a diferencia de los sujetos DC, quienes no muestran variaciones significativas interhemisféricas como se describe a continuación (Véase Apéndice 3 Tabla 6).

Varios trabajos han analizado la dominancia del HI en tareas de nominación empleando estímulos visuales y verbales. Para el primer caso las estrategias utilizadas incluyen escucha dicódica, análisis taquitoscópico y repetición de letras. En el segundo caso incluyen, tareas de comprensión oral, así como reconocimiento y repetición de dígitos, sílabas y palabras (Pizzamiglio, 1974; Zoccolotti, 1977; Waber, 1976, 1977; Fernández-Ballesteros & Manning, 1985; Longoni, Zoccolotti & Speranza, 1980). En todos los casos se ha identificado una actividad diferencial y especializada en sujetos IC.

Los estudios de Bloom-Feshbach (1980) señalan que los sujetos IC no solo muestran un dominio del HI más marcado en las tareas de recuerdo de sílabas, sino que también se desempeñan mejor con su HD en comparación a los sujetos DC, para todas las disciplinas en contextos de educación media evidenciando una mayor integración entre hemisferios en sujetos IC.

Gevins y Smith (2000) citado por Kozhevnikov (2007) examinaron las diferencias entre sujetos que exhibían un estilo cognitivo verbal versus no verbal registrando sus EEG mientras realizaban una tarea de memoria de trabajo espacial. Los resultados mostraron que los sujetos no difirieron significativamente en el rendimiento de las tareas de memoria de trabajo ni en la magnitud absoluta de las medidas de potencia del EEG; sin embargo, difirieron con respecto a las asimetrías hemisféricas de

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

las señales de banda alfa, dado que, los sujetos con un estilo verbal mostraron una mayor reducción de la señal alfa en el hemisferio izquierdo, mientras que los sujetos con un estilo no verbal mostraron una mayor reducción alfa en el hemisferio derecho.

Considerando a García (1989) en términos generales se comprobó la hipótesis de mayor diferenciación hemisférica de sujetos IC respecto de los DC, dado que los DC mostraron mayor orientación bilateral; las mujeres tienden a estar menos lateralizadas con tendencia a la DC y los hombres no bien lateralizados parecían también tender hacia la DC. Sin embargo, aún no está clara la diferenciación hemisférica en la dimensión DIC basada en el sexo.

Los estudios aquí reportados han direccionado la comprensión del pensamiento "integrativo y analítico", tanto como la teoría del cerebro dividido. Por tanto, el HD sería responsable de la orientación espacial, talentos artísticos, conciencia corporal y reconocimiento de rostros, procesando información de una forma más difusa en contraste con el HI, aunque es integrador de modo simultáneo y lineal (Ornstein, 1973, p. 273). Por otro lado, el HI está implicado sobre todo en el pensamiento analítico, especialmente en el lenguaje y en la lógica además de procesar la información de forma secuencial.

Desafíos para el reconocimiento de estilos cognitivos en la dimensión DIC con señales EEG

La literatura psicológica hace hincapié en que el espectro de los estilos cognitivos es una mezcla continua de dos modos distintos de procesar información. Por tanto, un estilo tiende a tener más importancia que el otro en el desarrollo y, sea cual fuere de los dos (exceptuando la bipolaridad), constituye un importante determinante de la personalidad y de la naturaleza psicológica del sujeto.

De esta manera, diferencias entre DC e IC son más que deficiencias generales o preferencias por mecanismos basados en uno u otro de los hemisferios. Los datos disponibles están generalmente de acuerdo con la teoría de la diferenciación presentada por Witkin y sus colaboradores (Witkin, et al.,

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1962; Witkin, Goodenough & Oltman, 1979), en el sentido de que la especialización hemisférica es consistentemente mayor para sujetos IC que para sujetos DC.

En esta línea de pensamiento Zoccolotti y Pizzamiglio (1986) señalaban la importancia de desentrañar la relación entre la forma en que los sujetos con diferentes estilos cognitivos manejan la información y las diferencias individuales en la dirección o extensión de la lateralización de estrategias cognitivas específicas. Este camino podría tener avances significativos tanto en el campo de la psicometría utilizando análisis de señales EEG que incluirían no solo los resultados de coherencia interhemisférica, latencia y/o amplitud de la onda alfa empleando ERP (Federico, 1984; Kapahi, 1987), como en el desarrollo de técnicas de procesamiento de neuroimagen y reconocimiento de patrones en el contexto del modelamiento con Inteligencia Artificial (IA) que junto al campo del procesamiento de lenguaje natural NPL y aprendizaje profundo podrían tener efectos en el desarrollo y control de BCI, así como en la forma de abordar los procesos de enseñanza-aprendizaje en el campo de la educación.

La presente investigación propone el uso de señales EEG para diferenciación de sujetos independientes IC, intermedios IntC y dependientes de campo DC, basado en análisis de actividad cerebral de acuerdo al modelo de Hickok y Poeppel (2012) en el hemisferio izquierdo (HI), donde se evidencia el procesamiento del habla imaginada a nivel subcortical sobre la vía dorsal asociada a la producción del habla según las correspondientes áreas de broadman (Véase Figura 5 y Apéndice 1 link 3), la cual incluyen la corriente dorsal, superpuesta a la ventral, conectando de forma bidireccional la red articularia con la interface sensoriomotora también llamada el área motora suplementaria (SMA), involucrando la circunvolución frontal posterior-inferior pIFG, corteza premotora PM, insula anterior y el límite parietotemporal (área Spt) respectivamente.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Las evidencias relacionadas con tareas de imaginaria de vocales evocadas en señales EEG y el efecto sobre la dimensión DIC, podría visibilizar de forma cuantitativa rasgos característicos a manera de biomarcador no invasivo de estilos cognitivos mediante el uso de señales EEG. Para la identificación de patrones, se postula en esta tesis el uso de métodos no lineales apropiados para señales EEG, basados en algoritmos de descomposición en modo empírico EMD (del inglés *empirical mode decomposition*) aplicados sobre el dominio tiempo-frecuencia a partir de la densidad espectral de potencia PSD (del inglés *Power Spectral Density*). Los componentes obtenidos del EMD se denominan funciones de modo intrínseco IMFs (del inglés *intrinsic mode functions*) y son la transformación de los datos que se realizará para cada canal (electrodo) para su respectivo análisis multivariante. En este sentido, la presente investigación propone el algoritmo intrínsecamente transformado de proyección adaptativa APIT-MEMD (del inglés *adaptive-projection intrinsically transformed MEMD*) en conjunto con análisis mixto de medidas repetidas para determinar de forma estadística las respectivas correlaciones entre el imaginario del habla de vocales y la señal EEG.

Procesamiento de Señales EEG con APIT-MEMD

Las señales de EEG son la modalidad de elección en la gran mayoría de los sistemas BCI y no es una excepción en la presente investigación en relación a la identificación de estilos cognitivos. Dado que la naturaleza de las señales aquí registradas se caracteriza por ser no lineales y no estacionarias, se requieren esquemas de procesamiento de señales que puedan proporcionar una representación de señal físicamente significativa; una de estas técnicas es la descomposición en modo empírico EMD (del inglés *empirical mode decomposition*). Como lo indican Hemakom et al., (2016) el algoritmo emplea un proceso de cribado para descomponer la señal en sus múltiples componentes modulados en amplitud / frecuencia de banda y fase instantáneas en una forma de tipo deflación. Estos componentes se

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

denominan funciones de modo intrínseco IMFs (del inglés *intrinsic mode functions*) y se utilizan como base para la representación de la señal.

El algoritmo EMD permite una representación de tiempo-frecuencia altamente localizada de la señal a través de la transformada de Hilbert, por lo que exhibe dos tipos de artefactos: (i) modo de mezcla y (ii) modo de división. La mezcla de modos se refiere a la existencia de diferentes componentes oscilatorios en un solo IMF, mientras que la división de modos es la presencia del mismo componente oscilatorio en dos o más IMF. Dichos artefactos se suavizan mediante la extensión de EMD asistida por ruido, denominada EMD de conjunto EEMD (del inglés *ensemble EMD*), que añade ruido gaussiano blanco WGN (del inglés *white Gaussian noise*) directamente a la señal de entrada, imponiendo así una estructura de banco de filtros diádica, la cual requiere para su análisis de valores complejos una EMD compleja multivariante de rotación MEMD (del inglés *multivariate empirical mode decomposition*), con la que se estima la media local a través de las proyecciones de la señal de entrada a lo largo de vectores de dirección, muestreados uniformemente en una esfera multidimensional, de tal forma que, diferentes componentes oscilatorios, presentes en múltiples canales, aparecen en un solo IMF y así es posible su uso junto con medidas de asociación de datos estándar, como sincronía de fase, entropía de muestra y correlación, para cuantificar las dependencias intra e intercomponentes de un sistema complejo, dentro de un marco denominado análisis intrínseco multiescala.

Los datos de EEG que emplean MEMD podrían mantener similitudes con ruidos desequilibrados que son incorrectos y correlacionados o semejantes a la señal original, lo cual requeriría una solución especialmente para el caso multivariado general, Razón por la que se introduce MEMD intrínsecamente transformado de proyección adaptativa o APIT-MEMD (del inglés *adaptive-projection intrinsically transformed MEMD*), que se ocupa de los desequilibrios y correlaciones de potencia en datos

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

multicanal, admite señales no lineales y no estacionarias, así como, suaviza la mezcla de modos y produce menos IMF para datos desequilibrados.

Hemakom et al., (2016) resaltan que en el caso de señales multivariantes, reubicar los vectores de proyección uniforme n-dimensional pregenerados a sus nuevas posiciones en un elipsoide n-dimensional es una tarea excepcionalmente complicada. Es posible que la señal de entrada no siempre se alinee con la dirección del primer componente principal local de cada entrada de tamizado, lo que da como resultado una estimación subóptima de la media local.

Para abordar este problema, esta tesis aplica un esquema de proyección según recomendaciones de Hemakom et al. (2016) y Hansen et al. (2019) mediante el cual, la dirección del primer componente principal que refleja el mayor desequilibrio y/o correlación de potencia en los canales de la señal multivariada se determina de forma adaptativa. Para una señal de entrada multivariante dada, $\mathbf{s}(t)$, con matriz de covarianza $C = E\{\mathbf{s}^T(t)\mathbf{s}(t)\}$ (donde $E\{\cdot\}$ es el operador de expectativa estadística y $(\cdot)^T$ es el operador de transposición), la dirección del primer componente principal se determina usando la descomposición propia de la matriz de covarianza, $C = \mathbf{V}\mathbf{\Lambda}\mathbf{V}^T$, donde la matriz \mathbf{V} corresponde a la matriz de vectores propios y las entradas de la matriz diagonal $\mathbf{\Lambda}$ son los valores propios correspondientes. Posteriormente, el primer componente principal, que apunta en la dirección del desequilibrio de potencia más alto, se utiliza para construir un vector que apunta en la dirección diametralmente opuesta.

Estos dos vectores se utilizan posteriormente para reubicar los vectores de dirección generados previamente por el esquema de proyección uniforme convencional. Cada operación de cribado proyecta entonces su entrada de cribado multivariante a lo largo de estos vectores de dirección adaptativos, para estimar la media local. Los valores de α se pueden determinar a partir del grado de desequilibrio de

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

potencia entre los canales de datos, y un rango sugerido es de 0 a 1. Para $\alpha = 0$, cuando los desequilibrios de potencia no existen o no se tienen en cuenta, el APIT-MEMD funciona de manera similar a el MEMD estándar: no se realiza ninguna proyección adaptativa. Por el contrario, para $\alpha = 1$, el caso de los desequilibrios de alta potencia entre los canales de datos, el APIT-MEMD está perfectamente bien equipado para hacer frente al muestreo de importancia del espacio de la señal.

Algoritmo 1. MEMD intrínsecamente transformado de proyección adaptativa según Hemakom et al., (2016)

- i. Dada una señal de entrada n -variable para cada operación de cribado $\mathbf{s}(t)$, realice la descomposición propia de la covarianza, $C = E\{\mathbf{s}\mathbf{s}^T\} = \mathbf{V}\mathbf{\Lambda}\mathbf{V}^T$ donde $\mathbf{V} = [\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_n]$ es la matriz de autovectores, y $\mathbf{\Lambda} = \text{diag}\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$ es la matriz de valores propios, con el valor propio más grande λ_1 correspondiente al vector propio \mathbf{v}_1 (primer componente principal).
- ii. Construya un vector que apunte en la dirección diametralmente opuesta al primer vector componente principal en el espacio n -dimensional, $\mathbf{v}_{01} = -\mathbf{v}_1$.
- iii. Muestree uniformemente una $(n - 1)$ esfera usando la secuencia de Hammersley para generar un conjunto de K vectores de dirección $\{x^{\theta_k}\}_{k=1}^K$.
- iv. Calcule las distancias euclidianas desde cada uno de los vectores de dirección uniforme hasta \mathbf{v}_1 .
- v. La mitad de todos los vectores de proyección uniformes, $x_{\mathbf{v}_1}^{\theta_k}$, más cercano a \mathbf{v}_1 , se reubican usando $\hat{x}_{\mathbf{v}_1}^{\theta_k} = \frac{\hat{x}_{\mathbf{v}_1}^{\theta_k} + \alpha \mathbf{v}_1}{|\hat{x}_{\mathbf{v}_1}^{\theta_k} + \alpha \mathbf{v}_1|}$, donde α se utiliza para controlar la densidad de los vectores reubicados.
- vi. La otra mitad de todos los vectores de proyección uniformes, $\hat{x}_{\mathbf{v}_1}^{\theta_k}$, más cercana a \mathbf{v}_{01} , son reubicados usando $\hat{x}_{\mathbf{v}_1}^{\theta_k} = \frac{\hat{x}_{\mathbf{v}_1}^{\theta_k} + \alpha \mathbf{v}_1}{|\hat{x}_{\mathbf{v}_1}^{\theta_k} + \alpha \mathbf{v}_1|}$, donde α se utiliza para controlar la densidad de los vectores reubicados.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

- vii. Realice una estimación de la media local de acuerdo con el algoritmo MEMD convencional (consulte [20] para obtener más detalles), utilizando los vectores de dirección adaptativos $\hat{x}_{v_1}^{\theta_k}$ y $\hat{x}_{v_{01}}^{\theta_k}$.

En términos procedimentales, se desarrolló una base de datos EEG a partir del imaginario del habla de vocales. Dichas señales son procesadas con el método APIT-MEMD en donde $p=14$ electrodos (E1, ... E14) ubicados sobre el hemisferio izquierdo. El resultado de este algoritmo son IMFs multivariados relacionados a p electrodos, v vocales con imaginario del habla y m niveles multivariados. Posteriormente se determina la densidad espectral de potencia (PSD) de cada una de las señales cerebrales, utilizando la función periodograma, la cual calcula los niveles de energía de cada uno de los IMF al emplear la siguiente ecuación (Li & Wong, 2013; Proakis & Manolakis, 2007).

$$X_{s,v}^p(f) = \frac{1}{A} \left| \sum_{n=0}^{A-1} IMF_{s,v,m}^p(n) e^{-j2\pi fn} \right|^2$$

De la anterior ecuación, s es el sujeto, v es la vocal, p es el electrodo, A es el ancho de la ventana, IMF es la función multivariada resultado del APIT-MEMD, v es un nivel de IMF y n son las muestras por analizar. Posteriormente, los datos de PSD se promedian entre los participantes para obtener el gran promedio de PSD, a partir del cual se realiza el análisis estadístico de los IMF obtenidos a razón de identificar si se presentan diferencias significativas entre los estilos cognitivos IC, InC y DC determinados a partir de la prueba EFT en su versión computacional (López et al., 2014) y las variaciones de la señal EEG correspondientes al imaginario de vocales en español empleando análisis mixto de medidas repetidas como se muestra a continuación.

Análisis Mixto de Medidas Repetidas Multivariante

En análisis de medidas repetidas que aquí se realiza tiene en consideración las recomendaciones de Ruiz de Villa (2004), Rojas, Seco y García (2006), Mertler y Reinhart (2016) y Stevens (2012, pag 471-

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

529). En este caso, el propósito es eliminar el sesgo sistemático y la reducción de la varianza del error dentro del grupo. La razón principal de la variabilidad dentro del grupo son las diferencias individuales entre los sujetos. Por lo tanto, a pesar de que los sujetos se les instruye para realizar la misma tarea cognitiva, sus puntajes en la variable dependiente pueden diferir considerablemente debido a las diferencias intra e interindividuos en la señal EEG, inclusive dentro de las mismas repeticiones de un mismo sujeto. Una forma estadística de reducir la varianza del error precisamente es el uso de medidas repetidas, dado que elimina considerablemente el error en relación a la variabilidad entre los sujetos por diferencias individuales.

Los términos “intra” e “inter” se refieren a factores de medidas repetidas. Una variable “intra” es una variable de agrupación o clasificación, como el sexo, la edad, la clase social o el electrodo para el caso de esta investigación. Una variable inter es aquella en la que los sujetos han sido medidos repetidamente, como el efecto del estilo cognitivo sobre las señales EEG producto del imaginario de vocales /a/, /e/, /i/, /o/, /u/ en nuestro caso. Los criterios de selección (ventajas/desventajas) de este tipo de análisis estadístico se describen a continuación:

1. Los diseños de medidas repetidas son mucho más potentes que los diseños completamente al azar, porque la variabilidad debida a las diferencias individuales se elimina del término de error, y las diferencias individuales son la razón principal de la variación del error.

2. Mayor precisión (debido al término de error más pequeño) y el hecho de que se necesitan muchos menos sujetos que en un diseño completamente al azar. Dos desventajas potenciales son que el orden de los tratamientos puede marcar la diferencia (esto puede abordarse con un contrapeso) y los efectos de arrastre.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

3. Se puede utilizar un enfoque univariado o multivariado para el análisis de medidas repetidas.

Los supuestos para un análisis de medidas repetidas univariadas de un solo grupo son (a) independencia de las observaciones, (b) normalidad multivariada y (c) esfericidad (también llamada circularidad). Para el enfoque multivariante, los primeros dos supuestos aún son necesarios, pero el supuesto de esfericidad no es necesario. La esfericidad requiere que las variaciones de las diferencias para todos los pares de medidas repetidas sean iguales. Aunque existen pruebas estadísticas de esfericidad, no se recomiendan.

4. Bajo una violación de la esfericidad, la tasa de error tipo I para el enfoque univariante se infla. Sin embargo, un enfoque univariado modificado (ajustado), obtenido al multiplicar cada uno de los grados de libertad por $\hat{\epsilon}$, produce una tasa honesta de error tipo I.

5. Debido a que tanto el enfoque univariado modificado (ajustado por Greenhouse-Geisser) como el enfoque multivariado controlan la tasa de error tipo I, la elección entre ellos se puede hacer en función del poder de las pruebas. La prueba multivariada probablemente debería evitarse cuando $n < k + 10$, porque en esta condición su potencia tenderá a ser baja. Cuando se viola la esfericidad, la investigación sugiere que cuando el N es moderadamente grande, el enfoque multivariante generalmente puede proporcionar más potencia. Sin embargo, es difícil saber en qué punto N se vuelve suficientemente grande. Entonces, si el poder es el criterio que está utilizando para tomar esta decisión, parece razonable considerar ambas pruebas, ya que pueden diferir en los efectos que detectarán.

6. Si el supuesto de esfericidad es sostenible, entonces un procedimiento de Tukey es una buena técnica post hoc para localizar diferencias significativas por pares. Si se viola el supuesto de esfericidad, como suele ser el caso, se debe utilizar el enfoque de Bonferroni. Es decir, haga múltiples pruebas t correlacionadas, pero use la desigualdad de Bonferroni para mantener el nivel alfa general bajo control.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

7. Cuando varios grupos están involucrados, entonces un supuesto adicional es la esfericidad de múltiples muestras, que establece que el supuesto de esfericidad se cumple para cada nivel del factor entre sujetos y que la matriz de varianza-covarianza de la población de las medidas repetidas es la misma en todos grupos. Las pruebas generales son robustas a las violaciones de esta segunda suposición, siempre que los tamaños de los grupos sean similares. Las violaciones de la primera suposición son generalmente más problemáticas, lo cual es la base para recomendar el uso de las pruebas de efecto invernadero-Geisser y / o multivariadas para los efectos dentro de los sujetos.

8. Los diseños con solo factores dentro del tema son bastante comunes en ciertas áreas de investigación. Estos son diseños en los que los mismos sujetos están involucrados en cada combinación de tratamiento o en cada situación. Totalmente dentro de los diseños se configuran fácilmente en SPSS.

9. Al probar contrastes con diseños de medidas repetidas, es imperativo que se usen términos de error separados para cada contraste, porque Boik (1981) demostró que si se usa un término de error agrupado, el alfa real será bastante diferente del supuesto nivel de significancia .

10. En el análisis de perfil, estamos comparando dos o más grupos de sujetos en una batería de pruebas. Se supone que las pruebas se escalan de manera similar. Si no lo están, los puntajes deben convertirse a algún tipo de puntaje estándar (por ejemplo, z o T) para que el análisis sea significativo. Los perfiles no paralelos significan que hay una interacción de grupo por variable; es decir, cuánto mejor hace un grupo que otro depende de la variable.

De esta manera, la presente investigación tiene en consideración los modelos mixtos de medidas repetidas multivariante sugerido por Ruiz de Villa (2004). Se basan en plantear un modelo para un individuo típico, i , al que se han realizado p_i observaciones a instantes de tiempo $t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{ip_j}$. En

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

este modelo no es necesario tener los mismos instantes de tiempo para cada individuo ni observaciones completas. Tampoco es necesario que los grupos tengan el mismo número de unidades experimentales.

El modelo individual, con parámetros propios, consiste en una función (lineal o no lineal), cuyos coeficientes se expresan como una suma de 2 componentes: una componente poblacional, fija para todos los individuos y que representa el valor medio del parámetro dentro del grupo, y una componente aleatoria, distinta para cada individuo, que expresa la parte del parámetro que es propia de cada sujeto. Con ello los modelos mixtos recogen aquellas situaciones en las que los perfiles de los individuos de un mismo grupo puedan diferir entre sí. Las matrices de covarianzas no tienen por qué tener una estructura concreta y además permiten dar un modelo para explicar la diferente variabilidad de los datos a lo largo del tiempo y para identificar la correlación entre las observaciones a lo largo del tiempo.

De forma general se puede expresar el modelo mixto como: $y_i = X_i\beta + Z_ib_i + \varepsilon_i$

siendo y_i el vector de p_i observaciones repetidas del individuo i , X_i matriz de diseño de los efectos fijos, Z_i la matriz de diseño de los efectos aleatorios, b_i el vector de efectos aleatorios $N(0, \Psi)$ y ε_i los residuos, $N(0, \Sigma_i)$ siendo estos dos últimos independientes.

MARCO PROCEDIMENTAL Y METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

Metodología

La presente investigación es de corte cuantitativo con enfoque exploratorio descriptivo, dirigido a evaluar el efecto de la variación de la señal EEG Voluntaria no-motora en el hemisferio izquierdo HI, evocada por el imaginario de vocales sobre los estilos cognitivos en la dimensión DIC bajo condiciones controladas de adquisición sobre la atención que incluye luminosidad, ruido ambiental, posición del sujeto y sincronización de la tarea cognitiva con marcador led, cuya luz emitida fue percibida con ojos cerrados, disminuyendo el efecto de artefactos por parpadeo o la modificación de la señal EEG por inclusión de marcas que puedan alterar la señal EEG original.

La configuración de 14 electrodos sobre el hemisferio izquierdo (HI) se determinó considerando el modelo de procesamiento de lenguaje planteado por Hickok y Poeppel (2004, 2012) adaptado a los canales T3 y C3 del sistema 10-20, esto incluye la modificación del dispositivo EMOTIV extendiendo los electrodos de Oro a 30 cm, además del aumento de densidad en las potenciales áreas de producción del imaginario del habla (14 electrodos ubicados entre la interfaz motora suplementaria SMA, córtex motor y premotor PM, área de Broca, Giro Supramarginal SGM, pars opercularis pOp, corteza auditiva primaria y de asociación, área de Wernicke, corteza somatosensorial primaria y de asociación) (Véanse Figuras 5 y 9).

La población de voluntarios consiste en una muestra de 70 estudiantes hispanohablantes cognitivamente saludables según autoreporte, a quienes se les agrupó de acuerdo al estilo cognitivo en la dimensión DIC de tipo dependiente DC, Intermedio IntC e Independiente de campo IC, mediante la prueba de figuras enmascaradas EFT modificada a su versión computacional según López, Ibáñez y Chiguasuque (2014) (Véase Apéndice 5).

MARCO PROCEDIMENTAL Y METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

El procesamiento de la señal EEG para el reconocimiento de variaciones relacionadas con el imaginario del habla de vocales se estimó a partir de la Densidad Espectral de Potencial PSD (del inglés *Power Spectral Density*) en el dominio tiempo-frecuencia (Véase Figura 9), sobre las cuales se implementan técnicas de procesamiento de señales no lineales con funciones de modo intrínsecas IMF (del inglés *intrinsic mode function*), obtenido mediante el algoritmo Descomposición en Modo Empírico Multivariante Intrínsecamente Transformado de Proyección Adaptativa APIT-MEMD (del inglés *Adaptive-Projection Intrinsically-Transformed Multivariate Empirical Mode Decomposition*) empleando el software MATLAB R2020b. Para determinar la significancia de las correlaciones de forma multivariada entre las señales EEG evocadas por el imaginario de vocales /a/, /e/, /i/, /o/, /u/, se estableció un análisis mixto de medidas repetidas que combina vocales abiertas con vocales cerradas, tanto como la combinación de todas las vocales, utilizando el paquete estadístico SPSS (del inglés *Statistical Package for the Social Science*- IBM, versión 23), permitiendo responder a las preguntas de investigación propuestas en la presente tesis como sigue:

¿Existen diferencias significativas en la emisión de señales EEG voluntarias no-motora del habla imaginada de vocales abiertas y cerradas obtenidas del hemisferio izquierdo, entre tres grupos de estudiantes con diferente estilo cognitivo en la dimensión DIC?

¿Existe actividad diferencial durante la emisión de señales EEG del imaginario de vocales abiertas y cerradas registradas entre 14 electrodos ubicados en el hemisferio izquierdo?

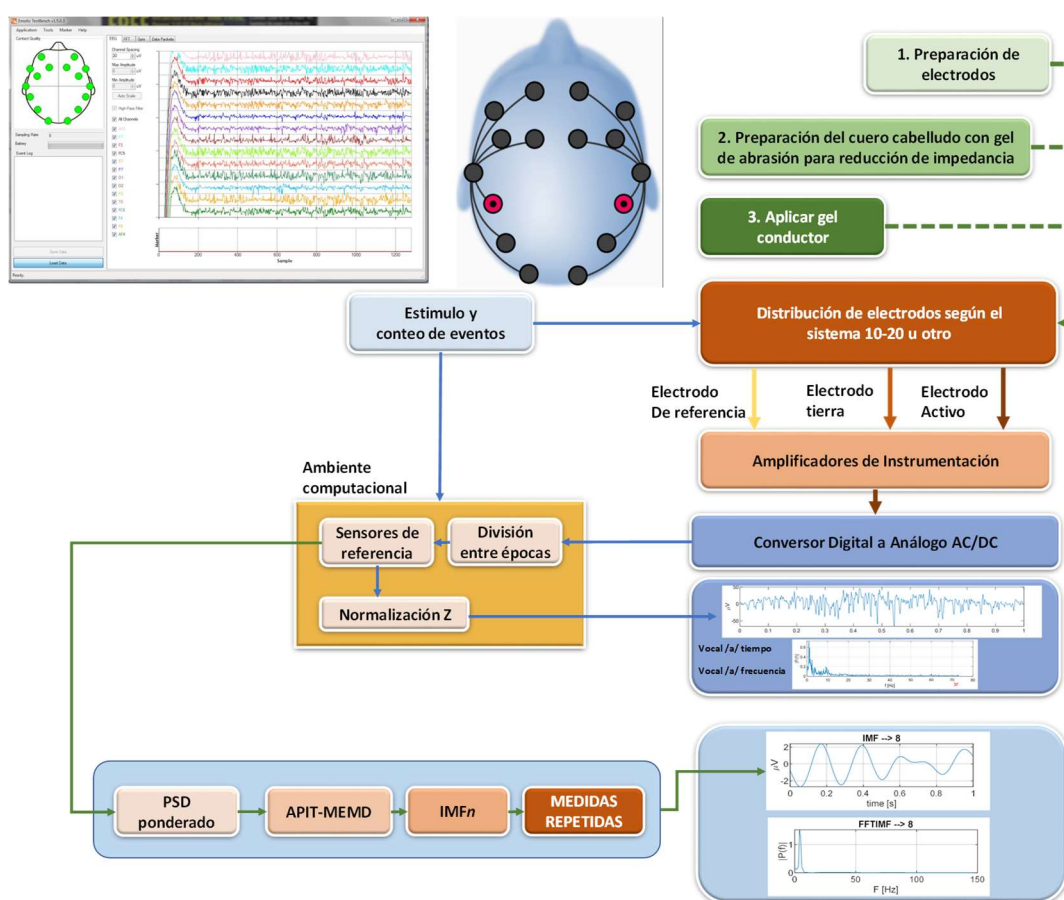
La organización del presente capítulo inicia con la identificación del diseño de investigación y variables de estudio, seguido de la descripción de las correspondientes hipótesis, la descripción de la población y muestra con sus respectivos criterios de inclusión. Se indica el instrumento a ser aplicado para identificación del estilo cognitivo en la dimensión DIC, se describe el ambiente de adquisición de

MARCO PROCEDIMENTAL Y METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

señales EEG junto con la instrumentación utilizada con su protocolo de adquisición. Finalmente, se explica la forma en que se obtienen los IMF a partir del PSD utilizando el algoritmo APIT-MEMD y su respectivo proceso estadístico implementando análisis mixto de medidas repetidas.

Figura 9

Sistema de Adquisición de Señales EEG para Imaginario del Habla



Nota: Configuración de un sistema de adquisición de señales EEG, preprocesamiento, procesamiento, y selección de características empleando sistemas de descomposición de PSD con APIT-MEMD (Adaptado de Villamizar, 2019).

MARCO PROCEDIMENTAL Y METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

Hipótesis

Para el desarrollo de la presente tesis se ha tomado en consideración el modelo de procesamiento anatómico funcional de lenguaje natural en doble flujo propuesto por Gregory Hickok y David Poeppel (2004, 2012) (Véanse Figuras 5 y 6), dado el efecto de una corriente ventral dedicada a la comprensión del lenguaje, al mapear representaciones sensoriales o fonológicas en representaciones **sonido-significado**, es decir, **conceptuales-semánticas** y una corriente dorsal, que mapea representaciones **auditivo-motoras** en representaciones **léxico-conceptuales** sobre la región del lóbulo frontotemporal. Se propone una configuración de 14 electrodos sobre el hemisferio izquierdo (HI), basado en evidencias que reconocen la fuente del imaginaria del habla en la corriente dorsal, que conecta de forma bidireccional la red articulatoria con la interface sensoriomotora del hemisferio izquierdo HI, incluida la circunvolución frontal posterior-inferior pIFG, corteza premotora PM, insula anterior y el límite parietotemporal (área Spt) respectivamente, como efecto de la asociación del procesamiento **léxico-conceptual**, así como sus redes combinatorias.

Sumado a lo anterior, las evidencias señaladas sobre el efecto de los estilos cognitivos en la dimensión DIC basados en la señal EEG desde las perspectivas localizacionista, uso preferencial de un hemisferio cerebral o hemisfericidad y la diferenciación hemisférica por dominancia periférica o lateralización interhemisférica de procesos cognitivos, que sugieren comportamientos diferenciales en sujetos Dependientes de campo DC de Independientes de Campo IC. Las evidencias incluyen: en ERP obtenidos a partir de la variación de la onda alfa, análisis de coherencia inter e intrahemisférica, estudios de amplitud y latencia de la onda P300 en tareas donde se involucran procesos de nominación y repetición de palabras, sílabas y vocales, tanto como, el efecto de estímulos visuales, auditivos y somatosensoriales que postulan el área del córtex cerebral encargada del procesamiento del lenguaje

MARCO PROCEDIMENTAL Y METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

como potencial foco de diferenciación de estilos cognitivos, me permiten plantear las siguientes hipótesis de investigación:

H1: El estilo cognitivo, para la dimensión Dependencia/Independencia de campo (DIC) presenta diferencias significativas entre la señal Voluntaria no-motora del habla imaginada de vocales a/, /e/, /i/, /o/, /u/ abiertas y cerradas obtenidas mediante señales EEG sobre una configuración de 14 electrodos ubicados en el hemisferio izquierdo HI.

H2: La señal voluntaria no-motora del habla imaginada de vocales a/, /e/, /i/, /o/, /u/ abiertas y cerradas presenta diferencias significativas entre los 14 electrodos ubicados sobre el hemisferio izquierdo.

H3: La variabilidad de la señal EEG voluntaria no-motora del imaginario del habla de vocales a/, /e/, /i/, /o/, /u/ abiertas y cerradas se debe a procesamientos cognitivos en el HI de forma diferencial de acuerdo al estilo cognitivo en la dimensión DIC.

H4: La variabilidad de la señal EEG voluntaria no-motora del imaginario del habla de vocales a/, /e/, /i/, /o/, /u/ abiertas y cerradas no presenta diferencias significativas en el hemisferio izquierdo (HI) de acuerdo al estilo cognitivo en la dimensión DIC.

Diseño de la Investigación y Variables de Estudio

La forma en que se someterá la hipótesis de investigación a experimentación requiere definir los factores en que se analizarán las variables intrasujetos e intersujetos, determinar las variables dependientes e independientes que delimitan la investigación y las combinaciones que analizarán sistemáticamente la significancia de las respectivas correlaciones entre las variables establecidas como se señala en el Apéndice 4 o su manera resumida en la Tabla 2:

MARCO PROCEDIMENTAL Y METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

- Factor A:** Intersujetos 3 Estilos Cognitivos en la Dimensión DIC Dependiente Dc, Intermedio InC e Independiente Ic.
- Factor B:** Intrasujetos 14 electrodos distribuidos entre el área sensoriomotora y de Broca en el hemisferio izquierdo HI.
- Factor C:** Intrasujetos 5 imaginario del habla de vocales /a/,/e/,/i/,/o/,/u/.
- Factor D:** Intrasujetos 2 imaginario del habla de vocales abiertas vs cerradas 6 combinaciones /a/ - /o/ y /a/ - /u/; /e/ - /o/ y /e/ - /u/; /i/ - /o/ e /i/ - /u/.
- Nombre de la Unidad de Medida:** Densidad Espectras de potencial PSD, variación de energía que hay dentro de una señal producida por el imaginario de vocales, en función de la frecuencia se mide en vatios/Hz.

Para determinar si hay diferencias significativas que validen las hipótesis propuestas este estudio analiza los siguientes diseños factoriales según las variables previamente definidas (Véase Apéndice 4):

1. Factor B Vs Factor C / Diseño factorial 14x5
2. Factor B Vs Factor D / Diseño factorial 14x2 en 6 combinaciones
3. Factor A Vs Factor B Vs Factor C / Diseño factorial 3x14x5
4. Factor A Vs Factor B Vs Factor D / Diseño factorial 3x14x2 en 6 combinaciones

Variables Dependientes (factores intrasujetos)

1. Señal EEG del Imaginario del habla de vocales /a/,/e/,/i/,/o/,/u/. en español colombiano y su correlación entre vocales abiertas vs cerradas (6 combinaciones)

MARCO PROCEDIMENTAL Y METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

- 14 electrodos distribuidos en el hemisferio izquierdo, entre el área sensoriomotora y área de Broca.

Variable Independiente (factores intersujetos)

- Estilo cognitivo en la dimensión DIC de tipo Dependiente (DC), Intermedio (IntC) e Independiente (IC).

Tabla 2

Diseño de Investigación y Descripción de Variables

VARIABLES INDEPENDIENTES		VARIABLES DEPENDIENTES														TOTAL
		Activación de señales EEG del Imaginario del habla de vocales /a/,/e/,/i/,/o/,/u/. en español y sus combinaciones entre vocales abiertas y cerradas /a/,/e/,/i/ vs /o/,/u/														
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	
Dispositivo mecatrónico																
ESTILO COGNITIVO DIMENSIÓN DIC	DC															
	IntC															
	IC															
SUB TOTAL																
TOTAL																

Nota: Las variables independientes se relacionan con el estilo cognitivo Dependiente de Campo DC, Intermedio IntC e Independiente de Campo IC, las variables dependientes contrastan las señales registradas en el hemisferio izquierdo producidas por las señales evocadas por el imaginario de vocales y sus combinaciones abiertas y cerradas.

Población y Muestra

En este estudio participaron un total de 70 estudiantes universitarios de pregrado y postgrado, 27 mujeres (38.57%) y 43 hombres (61.42%) pertenecientes a una universidad de la ciudad de Bogotá-Colombia y otra de la ciudad de Popayán-Colombia, los cuales varían de acuerdo a los criterios de exclusión previamente delimitados y la implementación de la distancia de Mahalanobich. La edad osciló entre los 17 y 49 años, la edad media fue de 24.68, con una desviación estándar de 7.84. Los participantes son nativos hispanohablantes sin condiciones o preexistencias de tipo médico o

MARCO PROCEDIMENTAL Y METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

neurológico según autoreporte. Los sujetos dieron su consentimiento informado por escrito y la adquisición de señales EEG fue aprobada por el Comité de ética de la Universidad Nacional de Colombia.

Prueba EFT para Estilo Cognitivo en la Dimensión DIC

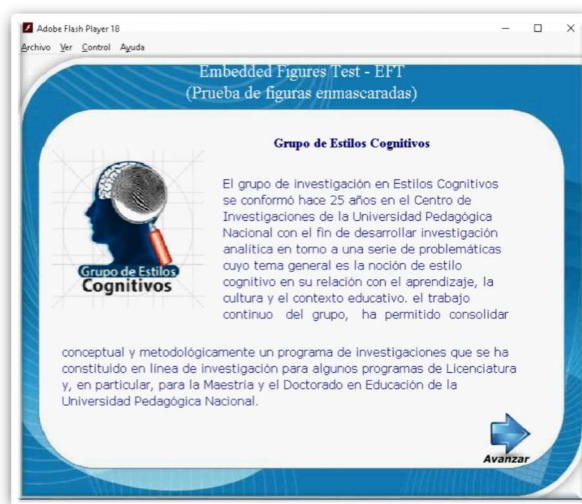
Para determinar el estilo cognitivo en la dimensión DIC, se utilizó la prueba de figuras enmascaradas EFT (del inglés *Embedded Figures Test*) propuesta inicialmente por Witkin (1962) (Véanse Figuras 9, 10 y Apéndice 5). Esta prueba de percepción requiere que el sujeto ubique una figura simple, vista previamente, dentro de una figura con un diseño complejo (Véase Apéndice 1). La prueba contiene 18 figuras complejas. La tarea consiste en encontrar las figuras simples en un tiempo predeterminado de 20 minutos.

Una versión del instrumento en línea ha sido aplicada en estudiantes colombianos (Hederich-Martínez, López-Vargas, & Camargo-Urbe, 2016), resultado de la validación de la versión digital del test de figuras enmascaradas adaptado por el grupo de estilos cognitivos COGNITEK de la Universidad Pedagógica Nacional basados en las propiedades psicométricas de pruebas psicológicas como la teoría clásica del test TCT (del inglés *International Test Commission*), propuesta por Tornimbedi et al., (2004).

MARCO PROCEDIMENTAL Y METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 10.

Presentación de la Prueba EFT



Nota: La prueba EFT fue desarrollada en ambiente computacional según Hederich, López- y Camargo (2016) (Véase la descripción detallada en el Apéndice 5).

Figura 11

Imagen Desarrollo de la Prueba EFT en Ambiente Computacional.

La adaptación al ambiente computacional en dicho estudio, mostró un alto grado de confiabilidad dado su alfa de Cronbach de 0.847 (consistente debe ser superior a 0.70, en investigación científica debe ser superior a 0.80 y para toma de decisiones sobre individuos debe ser 0.90,

MARCO PROCEDIMENTAL Y METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

preferiblemente 0.95 o más), razón por la que se aprobó su aplicación en esta investigación (Véase Apéndice 5).

Figura 12

Registro Fotográfico de Realización Prueba EFT en Ambiente Computacional



Nota: La imagen muestra los voluntarios desarrollando la prueba EFT en ambiente computacional laboratorio computacional Universidad Antonio Nariño.

La prueba fue realizada de manera individual en la sala de computo de las respectivas universidades Antonio Nariño sede Popayán y Laboratorio de Robótica Cognitiva de la Universidad Pedagógica Nacional, donde se le asignó un computador a cada voluntario y se les instruyó sobre el uso del ratón para controlar el cursor haciendo especial énfasis en las formas en que podrían cometerse errores durante la ejecución de la prueba. A los participantes se les instruyó sobre la forma en que se debería desarrollar la actividad proyectando las instrucciones a partir de dos ejemplos y un entrenamiento con duración de 2 minutos. Luego se daba inicio a la prueba en dos momentos con duración de 5 minutos cada uno y un receso intermedio de 1 minuto (Véanse Figuras 10, 11 y 12).

Ambiente de Adquisición de Señales EEG

La adquisición de señales EEG se desarrolló de acuerdo a las condiciones establecidas en el laboratorio de Cognición y Sistemas Inteligentes de la Universidad Pedagógica Nacional (Bogotá-Colombia), que incluyen condiciones controladas de luminosidad de 80 lm/m^2 . y mínimo ruido

MARCO PROCEDIMENTAL Y METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

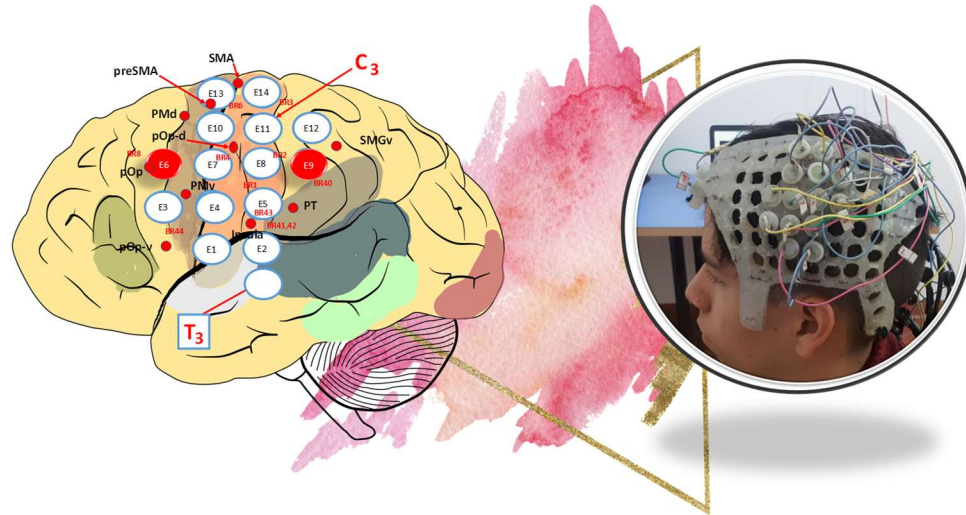
ambiental (ASTM STC 63). Posteriormente, a cada uno de los sujetos se les instruyó para sentarse en una silla confortable y se les colocó un EEG *neuroheadset* EMOTIV modificado incluyendo una extensión de cable de 30 cm para cada electrodo con su respectiva copa de Oro (Au) de 10 mm, junto con un plug adaptador impreso en 3D (Véanse Figuras 13 Y 14). Con relación a la configuración de la adquisición se ubicaron 14 electrodos en el cuero cabelludo sobre la interfaz sensoriomotora y su conexión con la red articularia del hemisferio izquierdo (HI) de acuerdo al modelo descrito por Hickok y Poeppel (2004, 2012) y el mapeo con ECoG propuesto por Bouchard y Chang, (2014) y Pei et al., (2011) (Véase Figura 11).

Para la adecuada ubicación del *neuroheadset* modificado en la cabeza de cada sujeto fueron utilizadas las posiciones T3 y C3 de acuerdo con el sistema 10-20. Adicionalmente, se ubicó una fuente luminosa a una distancia de un metro del sujeto para indicar el momento en que debía iniciar la tarea de imaginar el habla de una vocal específica y de igual forma, para dar por culminada la actividad (*onset* y *offset*) (Véase Figura 14). Durante la adquisición de las señales EEG se instruyó a los sujetos para permanecer con los ojos cerrados con el propósito de controlar el efecto de artefactos como el parpadeo y el movimiento de los ojos durante el desarrollo de la tarea.

MARCO PROCEDIMENTAL Y METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 13

Esquema y Configuración de Electrodo sobre el Hemisferio Izquierdo



Nota: El esquema resalta el área de adquisición de señales EEG empleando el dispositivo EMOTIV *neuroheadset* modificado, el cual contiene 14 electrodos que cubren la zona del hemisferio izquierdo HI incluidos dos electrodos de referencia en la parte frontal en un encaje de silicona cubriendo las áreas de lenguaje.

Instrumentación

Las señales fueron amplificadas y digitalizadas con el dispositivo de adquisición EMOTIV EPOC+ de 14 canales empleando una resolución de 14 bits con 1 LSB de $0.51 \mu\text{V}$ en configuración monopolar empleando una frecuencia de muestreo de 128 Hz. Dos electrodos de referencia fueron colocados en la frente del sujeto entre Fp1 y Fp2, el restante de los 14 electrodos se dispuso sobre el hemisferio izquierdo cubriendo la interfaz somatosensorial y red articularia utilizando un *socket* elaborado en silicona adaptado para el *neuroheadset* EMOTIV modificado por los autores (Véanse Figuras 13 y 14).

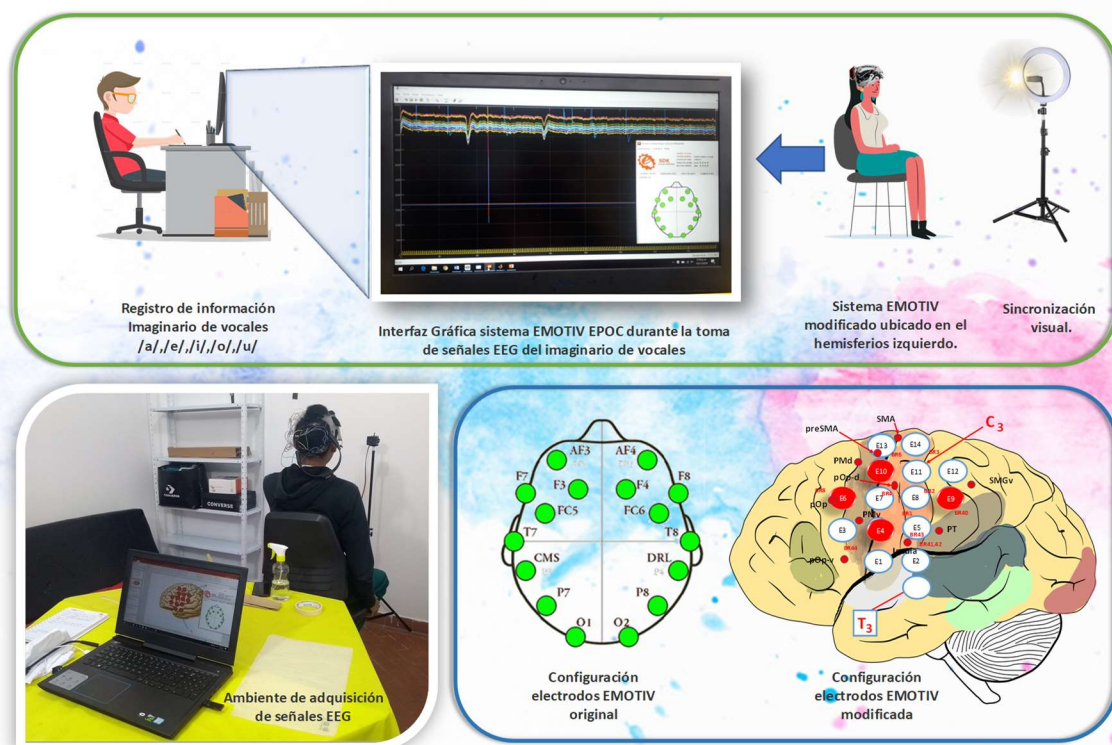
Para la exportación de los datos en Simulink de Matlab se utilizó el software de adquisición *EpoC Simulink Importer* de la empresa *Xcessity*. El procesamiento de las señales cerebrales se realizó con el software Matlab R2020b. Posteriormente, el análisis de los datos fue realizado a través del software

MARCO PROCEDIMENTAL Y METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

SPSS (del inglés *Statistical Package for the Social Science* Versión 25) y el procesamiento se realizó en un computador de Dell Intel CORE i9.

Figura 14

Sistema de Adquisición de Señales EEG para imaginario del Habla de vocales



Nota: Esquema representativo del sistema de adquisición de señales EEG. Interfaz gráfica del dispositivo Emotiv modificado y conversión AC-DC mediante sincronía de tareas del imaginario del habla de vocales /a/, /e/, /i/, /o/, /u/ por activación de luz led según protocolo del laboratorio de rehabilitación cognitiva de la Universidad Pedagógica Nacional.

Protocolo de Adquisición de Señales EEG

Con relación a la forma en que se realizan las tareas cognitivas de imaginaria de vocales, se les indicó a los sujetos permanecer con los ojos cerrados prestando atención a la percepción de la luz led. Cada vez que la luz se encendía el sujeto debería imaginar la correspondiente vocal al tiempo que ésta permaneciera activa y descansaría en los intervalos, esto implica no producir sonidos ni vibraciones

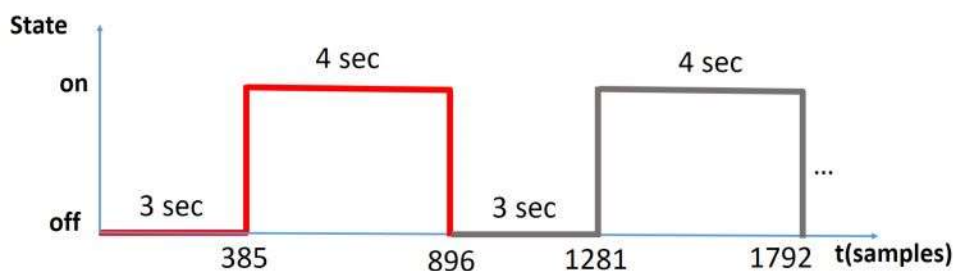
MARCO PROCEDIMENTAL Y METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

orofaríngeas durante la correspondiente tarea y evitar mover los ojos en la medida de lo posible (Véase Figura 14).

La estrategia de sincronización a partir de la luz led se incluyó como una alternativa de estímulo exógeno que marca el inicio *onset* y el final *offset* de la tarea cognitiva del imaginario de vocales. Esta estrategia se planteó con el propósito de disminuir el efecto electromiográfico EMG debido al parpadeo. Dicha señal EMG genera un ruido que podría terminar atenuando la señal EEG producida especialmente sobre el lóbulo frontal, parietal y temporal.

Figura 15

Protocolo de Adquisición de Señales EEG para Imaginario de Vocales



Nota: Se presentan los intervalos de tiempo empleados para el desarrollo de las tareas cognitivas de imaginación de la articulación de vocales. La segmentación de los datos se hizo considerando los intervalos (385-896, 1281-1792) donde los participantes imaginan las respectivas vocales /a/, /e/, /i/, /o/, /u/. Los intervalos (1-384, 897-1280) corresponden al estado de relajación.

Cada experimento fue diseñado para una duración de 4 segundos, con 25 repeticiones e intervalos de 3 segundos para las 5 vocales. Entre cada tarea los sujetos descansaron 5 minutos para continuar con el cambio entre vocales, que se han dispuesto en el siguiente orden: /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/. Una vez realizada la adquisición de la señal EEG (Véanse Figuras 13 y 14), se procede a segmentar los intervalos donde se realiza la respectiva tarea de imaginaria de vocales según el esquema que se presenta a continuación (Véase Figura 15).

MARCO PROCEDIMENTAL Y METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

Procesamiento de Señales EEG de Imaginaria de Vocales y Analisis Mixto de Medidas Repetidas

La señal EEG Voluntaria no-motora de habla imaginada de vocales se procesa en un sistema que extrae el espectro de potencia PSD (del inglés *Power Spectral Density*), mediante métodos de tratamiento de datos estructurados como la transformada de Hilbert-Huang (HHT), propuesta por Huang (Huang et al., 1998). Apropiaada para bioseñales por su caracter no estacionario y no lineal. El análisis utilizando HHT es adaptativo, no requiere ninguna función a priori y puede ser dividido en descomposición por modos empíricos MEMD (del inglés *multivariate empirical mode decomposition*). Con este método se obtiene los EMD (del inglés *Empirical Mode Decomposition*), un conjunto de datos que puede ser descompuesto en un número finito de monocomponentes conocidos como funciones de modo intrínsecas IMF (del inglés *Intrinsic Mode Functions*), cuya obtención puede optimizarse a partir del algoritmo APIT-MEMD (del inglés *adaptive-projection intrinsically transformed- multivariate empirical mode decomposition*).

Los IMF son representados tanto en una función oscilatoria que modula la amplitud, fase y frecuencia como en las bases de la descomposición. Este sistema ofrece una alternativa al reconocimiento de patrones en una configuración de baja densidad (14 electrodos), predeterminada entre el área de Broca y el área sensoriomotora del hemisferio cerebral izquierdo (HI) y se aplica para datos no estructurados. Dichos datos se almacenan en Excel para su respectiva organización en una base de datos estructurada y su posterior manipulación en SPSS *Statistical Package for the Social Science-IBM*, versión 23, donde se etiquetan las variables y se desarrolla el respectivo análisis multivariado de medidas repetidas. Para detalles de la base de datos desarrollada sobre imaginaria del habla de vocales con 70 sujetos y 10 IMFs en SPSS Véase Apéndice 6.

MARCO PROCEDIMENTAL Y METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

Análisis estadístico de los IMF

El procedimiento para realizar el análisis mixto de medidas repetidas de IMFs se realiza así:

- a. Organización de la base de datos obtenidas con el PSD en IMF independientes.
- b. Importación de las bases de datos de Excel a SPSS y ajuste de etiquetas y variables.
- c. Identificación de datos atípicos a partir de la estimación de la distancia de Mahalanobich.
- d. Eliminación de casos atípicos de acuerdo al diseño exploratorio correspondiente.
- e. Análisis Mixto de Medidas Repetidas multivariado/modelo lineal general
 - Factores intra e intersujetos y estadísticos descriptivos.
 - Prueba Multivariante.
 - Prueba de esfericidad de Mauchly, Prueba de efectos intra- sujetos, Prueba de contraste intra-sujetos y Prueba de efectos inter-sujetos.
 - Medidas Marginales Estimadas para Percentil grupo EFT, Vocales, Electrodo.
 - ✓ Comparaciones por parejas, Pruebas Univariadas y Prueba Multivariante.
 - Prueba Pos-hoc para estilo cognitivo en la dimensión DIC con
 - ✓ Comparaciones múltiples.
 - Gráficas análisis e interpretación
 - ✓ Vocales vs Electrodo / Electrodo vs Vocales.
 - ✓ EFT vs Vocales / Vocales vs EFT y EFT vs Electrodo / Electrodo vs EFT.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

Resultados y Análisis de Resultados

El presente capítulo reporta los resultados significativos obtenidos en relación al análisis mixto de medidas repetidas realizado a 10 IMFs producto de la aplicación del algoritmo APIT-MEMD sobre las señales EEG de la imaginaria de vocales obtenidas de un total de 70 sujetos, con los cuales se estimó un gran promedio del espectro de potencia PSD para cada uno de los 14 electrodos ubicados sobre el hemisferio izquierdo (HI) de acuerdo a una configuración acorde con el modelo de Hickok y Poeppel (2004, 2012) bajo condiciones controladas de luminosidad, ruido del ambiente, ojos cerrados y sincronización de estímulos con luz led. Esto con el objetivo de identificar correlaciones entre las áreas del córtex cerebral del HI con la señal EEG potencialmente producida por la imagineria de vocales combinadas entre todas (/a/,/e/,/i/,/o/,/u/), y por pares entre vocales abiertas y cerradas (/a/-/o/;/a-/u/;/e/-/o/;/e-/u/;/i/-/o/ e /i-/u/), además de su efecto sobre el estilo cognitivo en la dimensión DIC.

En total se reportan diferencias significativas para 14 IMFs seleccionados a partir de las pruebas de significancia multivariantes de un total de 70 IMF analizados. Los IMFs reportados indican los resultados iniciando con estadísticos descriptivos (media y desviación estándar), tanto como casos excluidos por ser atípicos o no estar asignado a ningún tercil en el NEFT. Seguido se reporta si cumple o no la prueba de esfericidad de Mauchly corrigiendo según el caso con Greenhouse-Geisser. Se da continuación con la identificación multivariada de diferencias significativas entre variables inter e intrasujetos y sus interacciones dobles entre el imaginario de vocales abiertas y cerradas.

Adicional, se reportan los resultados con diferencias significativas de los efectos intrasujetos y sus interacciones entre vocales, electrodos y NEFT, tanto como, la descripción de los resultados obtenidos de las pruebas de contraste por nivel, según la significancia intra e intersujetos y sus interacciones dobles. Finalmente, se reportan las comparaciones múltiples diferenciales y significativas de acuerdo a Bonferroni y prueba *post-hoc* en el respectivo caso, junto con los resultados de la prueba

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

intersujetos, dando una conclusión por IMF reportado, sobre la base neuroanatomica del córtex cerebral y los electrodos que resaltaron su actividad contrastándolo con las áreas de broadman y la distribución espacial del procesamiento del lenguaje bimodal propuesto por Hickok y Poeppel (2004, 2012).

Aplicación de APIT-MEMD y Obtención de IMFs

La aplicación del algoritmo APIT-MEMD realizado sobre los datos en bruto producto de las variaciones en la señal EEG registradas en 14 electrodos en una configuración sobre el hemisferio izquierdo (HI) se hizo de acuerdo a las sugerencias de Hemakom et al., (2016). Se obtuvieron un total de 10 funciones de modo intrínseco IMF producto de la combinación de técnicas de análisis de datos que se comportan de forma no lineal ni estacionaria, partiendo de una técnica basada en la descomposición en modo empírico EMD (Véase Figura 14). Esto permitió una representación de tiempo-frecuencia altamente localizada de la señal a través de la transformada de Hilbert.

Adicionalmente, se aclara la necesidad de introducir el algoritmo intrínsecamente transformado de proyección adaptativa o APIT-MEMD para suavizar el efecto del ruido de la señal, de tal forma que se disminuyen los desequilibrios y correlaciones de potencia en datos multicanal, admitiendo bioseñales tan aleatorias como las EEG, dado que suaviza la mezcla de modos y produce menos IMF para datos no estructurados (Véase Figura 16).

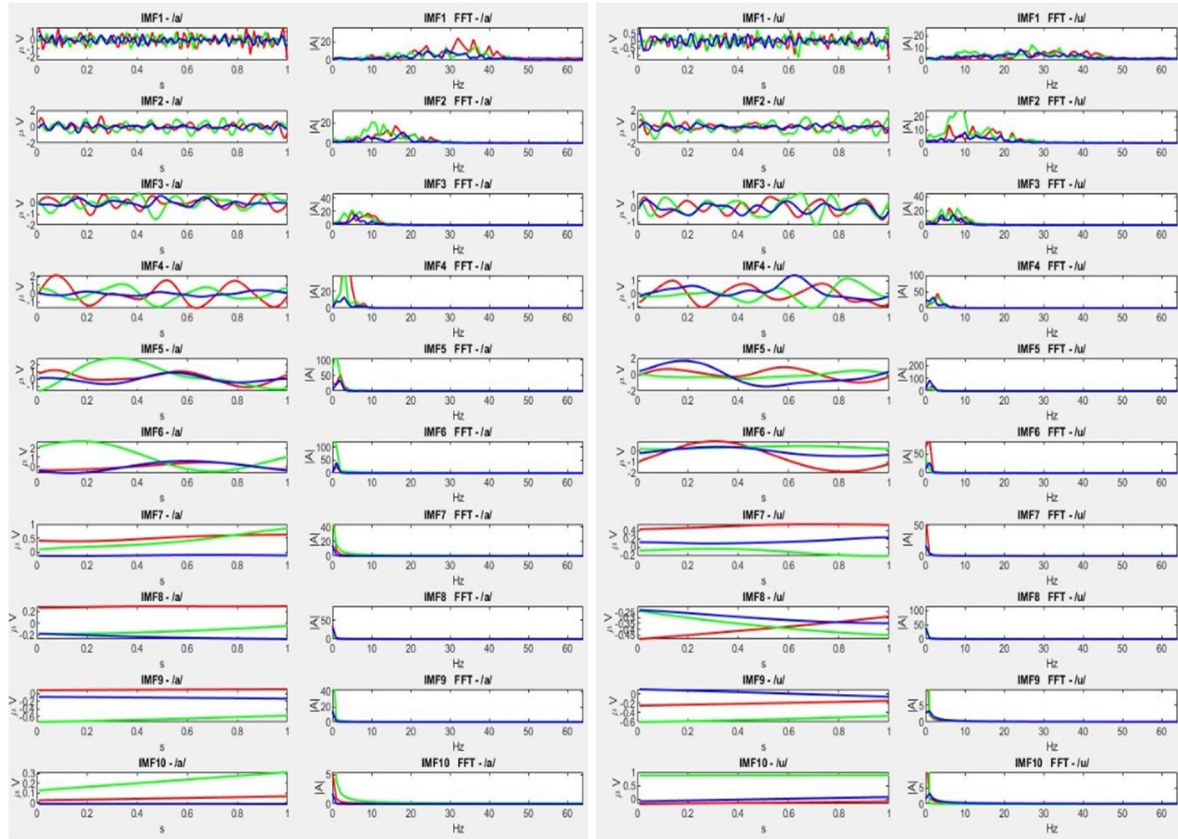
Prueba de Estilos Cognitivos EFT

A continuación, se describen los casos en que se excluyeron sujetos debido a que se comportaban como atípicos o porque no fue designado en ningún grupo NEFT relacionado con la dimensión DIC (IC, IntC, DC) a través del resultado del EFT (Véanse Tablas 3 y 4).

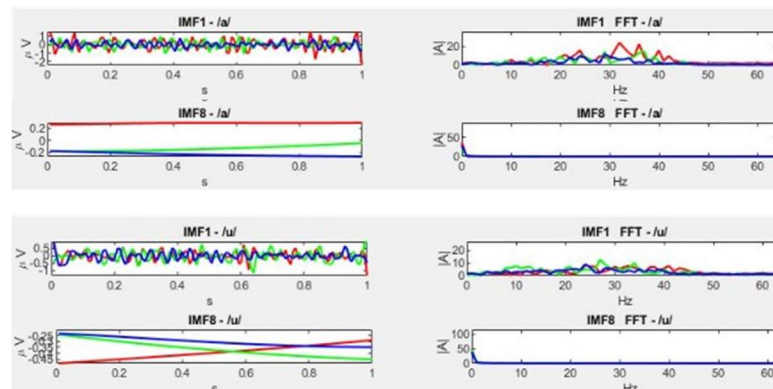
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 16

Gráficas del IMF Nivel 1 al Nivel 10, Relacionadas con el Electrodo 9 de un Sujeto.



Nota: La línea roja indica un sujeto independiente de campo IC, la verde intermedio InC y la azul dependiente de campo Dc. Para cada comportamiento se muestra el IMF y el FFT (dominio de la frecuencia) para las vocales /a/ - /u/ (izq y der respectivamente) en tareas de imaginaria del habla de vocales. En la parte inferior se amplían los resultados para los sujetos 1 (izq) y 2 (der) de manera demostrativa señalando la descomposición con APIT-MEMD para la vocal /a/,/u/ obteniendo los IMFs 1 y 8.



RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

Se identificaron un total de 14 IMFs que presentaron diferencias significativas ya sea entre vocales (IMF 1, 4, 5, 6), entre electrodos y estilo cognitivo (IMF 8) y entre vocales con electrodos o vocales con el NEFT (IMF 1, 3 y 4). De forma transversal se pueden identificar entre los IMFs una tendencia a exluirsen los casos atípicos 27, 21, 48 y 55, dado que se repiten entre 9 y 11 sujetos. Con relación a la exclusión por no tener asignación en ningún tercil en el NEFT se identificó una tendencia en los sujetos 4, 16, 60, 57, 69 y 22, debido a que se repiten entre once y ocho veces de los 70 casos (Véanse Figuras 17 y 18).

A manera general se puede señalar el reporte de 14 IMFs categorizados, donde se ubican los IMF 1, 4, 5, 6, 7 con diferencias significativas especialmente entre las vocales /a/ y /u/, así como /a/ y /o/. Los IMF 4, 5 y 7 evidenciaron diferencias significativas especialmente con las vocales /a/ y /u/, mientras que los IMFs 1, 3 y 4 identificaron diferencias significativas en la relación entre electrodos y vocales, tanto como electrodos y NEFT en las combinaciones /a/-/o/, /e/-/o/, /i/-/o/ respectivamente.

Tabla 3

Casos excluidos relacionados con los 14 IMFs donde se identificaron diferencias significativas.

No	IMFs reportados	sig. por	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14	
			At	Te	At	Te	At	Te	At	Te	At	Te	At	Te	At	Te	At	Te	At	Te	At	Te	At	Te	At	Te	At	Te	At	Te
1	IMF 1 /a/-/u/	vocal	1	4	4	32																								
2	IMF 4 /a/-/u/	vocal							3	21	16														19	4	2	4	3	4
3	IMF 4 Total	vocal	16	35	16	35			4	22	69													16	20	16	15	16	18	16
4	IMF 5 /a/-/u/	vocal	19	48	21	67			5	26														21	35	19	21	19	30	
5	IMF 5 Total	vocal	20	53	22	69			14	27														22	48	20	32	20	54	
6	IMF 6 /a/-/u/	vocal	21	54	26				16	30														24	53	22	35	21	55	
7	IMF 7 /a/-/o/	vocal	22	57	27				21	33														26	54	24	53	22	57	
8	IMF 7 /a/-/u/	vocal	26	65	30				22	35														27	57	25	54	25	60	
9	IMF 7 Total	vocal	27	67	48				26	48														29	60	26	55	26	65	
10	IMF 8 /a/-/o/	elec*EFT	30		50				27	49														30	65	27	57	27	69	
11	IMF 8 /a/-/u/	elec*EFT	32		53				30	53														32	67	29	60	29		
12	IMF 1 /a/-/o/	vocal*elect	37		55				32	54														37		30		35		
13	IMF 3 /e/-/o/	vocal*elect	50		57				50	57														50		42		38		
14	IMF 4 /i/-/o/	elect*NEFT	55		60				54	55														55		48		40		
					65				50	57														55		58		46		
									53	60														55		50		41		
									54	62														57		59		42		
									60	65														57		68		46		
									60	62														60		62		65		
									65	67														65		67		67		
									67															65		67		48		
									67															67		67		50		
									69															67		69		58		

Nota: A la izquierda en colores se señalan los IMFs seleccionados y su categoría de exclusión (sig. por), a la derecha se indica de acuerdo a cada IMF los sujetos excluidos de un grupo inicial de 70 voluntarios por identificarse como atípico (At) o por no estar asignado dentro de un tercil del EFT (Te).

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

En cuanto a los casos excluidos se identificaron para todos los IMFs, entre 13 y 19 sujetos por ser casos atípicos y entre 2 y 19 sujetos por no estar asignado a ningún tercil del NEFT. Con relación al total de exclusiones por IMF oscilo entre 18 y 28 sujetos en promedio, mientras que se incluyeron en la investigación entre 42 a 52 casos (Véanse Tablass 2 y 3).

Tabla 4

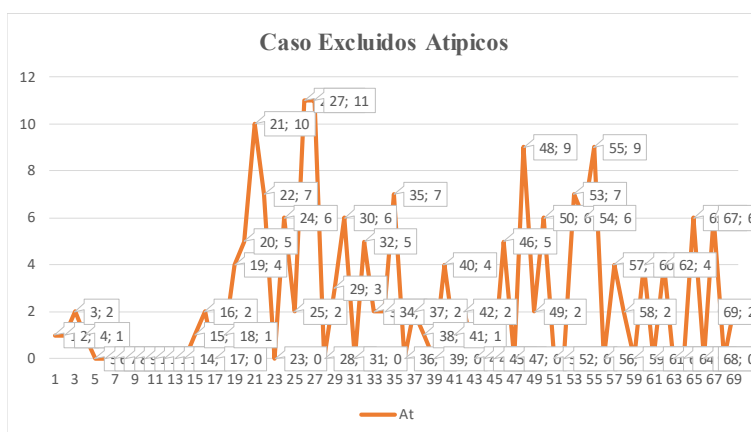
Resultados del primer filtro por IMF

No	IMFs reportados	At	Te	Total excluidos	Total Admitidos
1	IMF 1 /a/-/u/	13	8	21	49
2	IMF 4 /a/-/u/	14	4	18	52
3	IMF 4 Total	0	19	19	51
4	IMF 5 /a/-/u/	17	2	19	51
5	IMF 5 Total	0	18	18	52
6	IMF 6 /a/-/u/	17	4	21	49
7	IMF 7 /a/-/o/	15	8	23	47
8	IMF 7 /a/-/u/	13	8	21	49
9	IMF 7 Total	0	19	19	51
10	IMF 8 /a/-/o/	17	7	24	46
11	IMF 8 /a/-/u/	17	6	23	47
12	IMF 1 /a/-/o/	14	10	24	46
13	IMF 3 /e/-/o/	16	10	26	44
14	IMF 4 /i/-/o/	19	9	28	42

Nota: empleando exclusión por atípicos y terciles faltantes NEFT de asignación

Figura 17

Gráfica Comportamiento de Sujetos Excluidos por Presentar Datos Atípicos

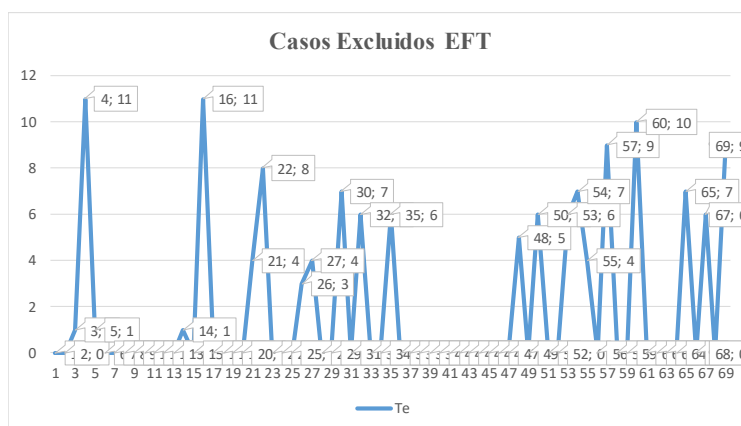


Nota: La gráfica reporta exclusión por presentar datos atípicos para los 14 IMF que presentaron diferencias significativas, se resalta especialmente la transversalidad de los casos 27, 21, 49, 55, 22, 35 y 53 entre los más relevantes, para intervalos en que se repiten transversalmente de 7 a 11 veces.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 18

Gráfica Comportamiento de Sujetos Excluidos por no inclusión en terciles



Nota: Comportamiento de sujetos excluidos reportados por no indicar ningún tercil en el EFT para los 14 IMF que presentaron diferencias significativas. Se resaltan los sujetos 4, 16, 60, 57, 69, 22, 30, 54 y 65 para intervalos en que se repiten transversalmente.

Reporte de IMFs con Diferencias Significativas

A partir de la identificación de 14 IMFs con diferencias significativas, se procede a realizar el respectivo análisis mixto de medidas repetidas con el objeto de evidenciar el efecto del imaginario de vocales /a/, /e/, /i/, /o/, /u/ y su combinación abiertas y cerradas /a/-/o/, /a/-/u/, /e/-/o/, /e/-/u/, /i/-/o/, /i/-/u/, sobre la variación de la señal EEG generada en el hemisferio izquierdo (HI) a partir de 14 electrodos, junto con la manera en que se refleja actividad neurofisiológica diferencial en el espectro de potencia PSD producido en la corteza cerebral a partir de las tareas cognitivas solicitadas. De los 14 IMFs se describen a continuación los resultados para el IMF 1 /a/, /o/, IMF 4 /a/, /u/, IMF 8 /a/, /o/ e IMF 8 /a/, /u/, a razón de su alta significancia discriminativa (para ver en detalle el reporte de los IMFs ir al Apéndice 7).

Reporte de resultados IMF 1 /a/, /o/

El promedio de la prueba EFT de la muestra fue de 10.59; la desviación estándar (DE=3.79). Sobre un puntaje máximo de 18; el valor mínimo fue de 1 y el valor máximo de 18 puntos. Los sujetos

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

fueron agrupados en Dependientes de Campo (DC), intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC), definiendo terciles para el puntaje total en la prueba. De esta forma, se identificaron tres rangos de puntajes a saber: (a) 15 sujetos DC (primer tercil), (b) 19 sujetos IntC (segundo tercil), y (c) 12 sujetos IC (tercer tercil). Se excluyeron un total de 24 sujetos de los cuales 14 se reconocieron como casos atípicos (30,19,32,37,27,22,29,20,69,21,24,50,26,55) y 10 por no incluirse en ningún tercil (48,54,35,53,4,16,57,60,65,67) (Véanse Tablas 5 y 6).

La prueba de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad fue violado. Los datos muestran que el efecto principal de los PSD en los electrodos es: ($X(90) = 1151.966$, $p < 0.05$) y en la interacción vocales*electrodos es: ($X(90) = 1266.588$, $p < 0.05$). Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = 0.19$ y 0.21 respectivamente). Las pruebas multivariantes indican que existen diferencias significativas en electrodos [Traza de Pillai = 0.921, $F(13,31) = 27.982$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.921$] y los PSD de la interacción doble vocales*electrodos [Traza de Pillai = 0.518, $F(13,31) = 2.566$, $p = 0.016$, $\eta^2 = 0.518$]. Sin embargo, no existe diferencias significativas entre vocales de forma independiente, lo que sugiere que los PSD registrados en la interacción con los 14 electrodos y las vocales del imaginario del habla /a/, /o/ manifiestan diferencias en la distribución espacial pero no se diferencian entre sí como vocales (Véase Figura 19).

Tabla 5

Factores inter-sujetos IMF1 /a/ y /o/ con dimensión DIC

Factores inter-sujetos	Etiqueta de valor	N	/a/			/o/			
			EFT	PROM	DS	EFT	PROM	DS	
Agrupación por percentil EFT	1	Dependiente (DC)	15	DC	0,27	0,15	DC	0,78	1,88
	2	Intermedio (IntC)	19	IntC	0,32	0,19	IntC	0,31	0,14
	3	Independiente (IC)	12	IC	0,48	0,37	IC	1,25	3,17
			Total	0,34	0,25	Total	0,71	1,92	

Nota: Distribución de sujetos por estilo cognitivo en la dimensión DIC y sus respectivas Medias y Desviaciones Estándar (DS) ponderadas para la relación vocal abierta y cerrada /a/ y /o/ correspondiente al IMF 1.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

Tabla 6

Resultados de PSD del imaginario de vocales/a/ y /o/ en cada electrodo para el IMF 1

/a/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,30	0,21	0,31	0,19	0,27	0,16	0,28	0,16	0,28	0,16	0,26	0,15	0,26	0,15	0,27	0,14	0,27	0,14	0,26	0,14	0,27	0,14	0,27	0,13	0,23	0,11	0,26	0,10
IntC	0,34	0,18	0,35	0,18	0,29	0,16	0,31	0,16	0,31	0,17	0,28	0,16	0,30	0,18	0,32	0,21	0,33	0,21	0,31	0,19	0,33	0,22	0,34	0,21	0,31	0,22	0,33	0,23
IC	0,46	0,26	0,62	0,63	0,43	0,28	0,44	0,28	0,47	0,32	0,45	0,37	0,46	0,36	0,49	0,37	0,50	0,40	0,47	0,39	0,50	0,39	0,51	0,39	0,46	0,39	0,48	0,39
Total	0,36	0,22	0,41	0,37	0,32	0,21	0,33	0,21	0,34	0,23	0,32	0,24	0,33	0,24	0,34	0,26	0,35	0,27	0,34	0,25	0,36	0,26	0,36	0,26	0,32	0,26	0,35	0,26
/o/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,79	1,84	0,79	1,75	0,76	1,84	0,74	1,71	0,78	1,85	0,75	1,83	0,77	1,88	0,77	1,89	0,81	2,01	0,75	1,83	0,80	1,95	0,81	1,95	0,76	1,92	0,81	2,04
IntC	0,37	0,29	0,37	0,23	0,30	0,15	0,33	0,16	0,32	0,16	0,27	0,11	0,28	0,10	0,28	0,11	0,31	0,13	0,10	0,30	0,11	0,32	0,12	0,27	0,11	0,30	0,11	
IC	1,23	3,18	1,22	3,03	1,24	3,20	1,17	2,94	1,26	3,26	1,25	3,24	1,26	3,26	1,20	2,99	1,27	3,23	1,19	2,99	1,29	3,23	1,32	3,29	1,26	3,25	1,28	3,23
Total	0,73	1,92	0,73	1,83	0,69	1,93	0,68	1,77	0,72	1,95	0,68	1,94	0,70	1,96	0,68	1,85	0,72	1,99	0,67	1,83	0,72	1,97	0,74	2,00	0,69	1,97	0,72	2,00

Nota: Distribución de la media y desviación estandar de acuerdo al estilo cognitivo en la dimensión DIC para señales registradas en 14 electrodos ubicados en el hemisferio izquierdo.

Las pruebas de efectos intra-sujetos no presenta diferencias significativas en las vocales /a/, /o/.

Sin embargo, muestra diferencias significativas para electrodos con un $F(2,437,104.809) = 3.433, p = 0.028, \eta^2 = 0.074$. De igual forma, la interacción vocales*electrodo también muestra diferencias significativas $F(2,675,115.009) = 1.366, p = 0.258, \eta^2 = 0,031$ (Véase Figura 19 der).

Las pruebas de contraste intra-sujetos para la variable vocales /a/ y /o/ no presenta diferencias significativas. La variable Electrodo, se presentan diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 2 vs. NIVEL 3) el promedio de los PSD generados en el electrodo 2 ($M = 0.61$) con el PSD del electrodo 3 ($M = 0.59$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 5.516, p = 0.024, \eta^2 = 0.114$. El segundo contraste (NIVEL 4 vs. NIVEL 5) muestra un promedio de PSD en el electrodo 4 ($M = 0.54$) con el PSD del electrodo 5 ($M = 0.57$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 4.535, p < 0.039, \eta^2 = 0.095$. El tercer contraste (NIVEL 5 vs. NIVEL 6) señala un promedio de PSD en el electrodo 5 ($M = 0.57$) con el PSD del electrodo 6 ($M = 0.54$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 10.324, p = 0.002, \eta^2 = 0.194$. Un cuarto contraste (NIVEL 6 vs. NIVEL 7) señala un promedio de PSD en el electrodo 6 ($M = 0.54$) con el PSD del electrodo 7 ($M = 0.56$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 6.529, p = 0.014, \eta^2 = 0.132$. El quinto contraste (NIVEL 8 vs. NIVEL 9) señala un promedio de PSD en el electrodo 8 ($M = 0.55$) con el PSD del electrodo 9 ($M = 0.58$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 7.079, p = 0.011, \eta^2 = 0.132$.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

=0.139. El sexto contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señala un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.58$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.54$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 8.328$, $p = 0.006$, $\eta^2 = 0.162$. El séptimo contraste (NIVEL 10 vs. NIVEL 11) señala un promedio de PSD en el electrodo 10 ($M = 0.54$) con el PSD del electrodo 11 ($M = 0.58$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 12.013$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.218$. El octavo contraste (NIVEL 11 vs. NIVEL 12) señala un promedio de PSD en el electrodo 11 ($M = 0.58$) con el PSD del electrodo 12 ($M = 0.59$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 18.030$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.295$. El noveno contraste (NIVEL 12 vs. NIVEL 13) señala un promedio de PSD en el electrodo 12 ($M = 0.59$) con el PSD del electrodo 13 ($M = 0.55$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 112.233$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.223$. El décimo contraste (NIVEL 13 vs. NIVEL 14) señala un promedio de PSD en el electrodo 13 ($M = 0.55$) con el PSD del electrodo 14 ($M = 0.57$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 19.994$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.317$. Con relación a la interacción vocales*electrodos no se evidenciaron diferencias significativas.

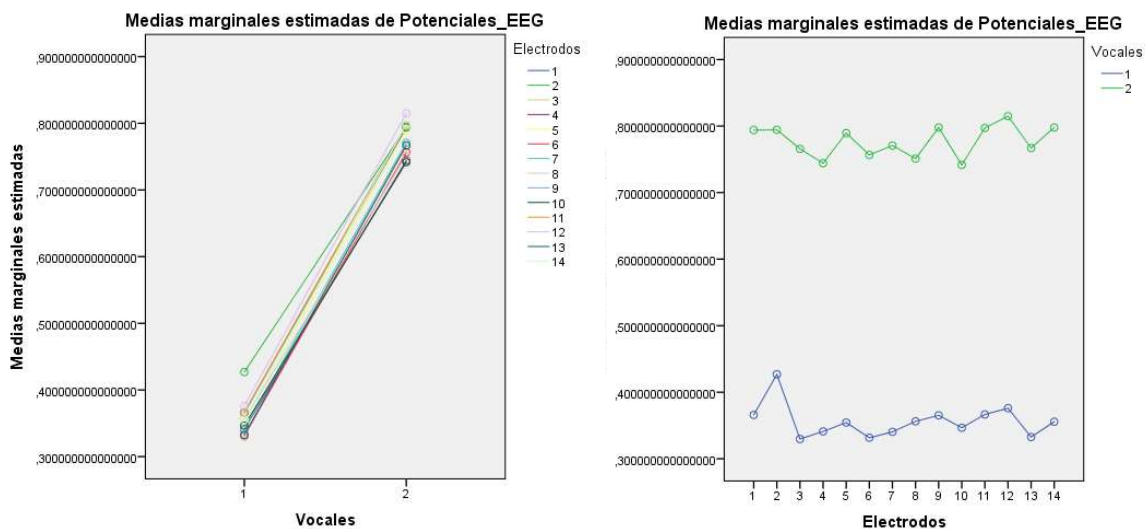
Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los PSD de las vocales /a/ y /o/. Por otro lado, si existen diferencias significativas entre los electrodos: (i) El E3 ($M = 0.55$) es significativamente menor que el E1 ($M = 0.58$), (ii) el E11 ($M = 0.58$), es significativamente mayor que el E6 ($M = 0.54$), E7 ($M = 0.56$) y E13 ($M = 0.55$). (iii) el E12 ($M = 0.59$), es significativamente mayor que E3 ($M = 0.58$), E6 ($M = 0.54$), E7 ($M = 0.56$), E10 ($M = 0.54$), E11 ($M = 0.58$) y E13 ($M = 0.55$). Finalmente (iv) el E13 ($M = 0.55$), es significativamente menor que el E9 ($M = 0.58$) y E14 ($M = 0.57$).

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que no existen diferencias significativas del imaginario del habla de vocales en los PSD generados en los diferentes electrodos debido al estilo cognitivo de los sujetos. $F(2,43) = 1.205$, $p = 0.310$, $\eta^2 = 0,053$.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 19.

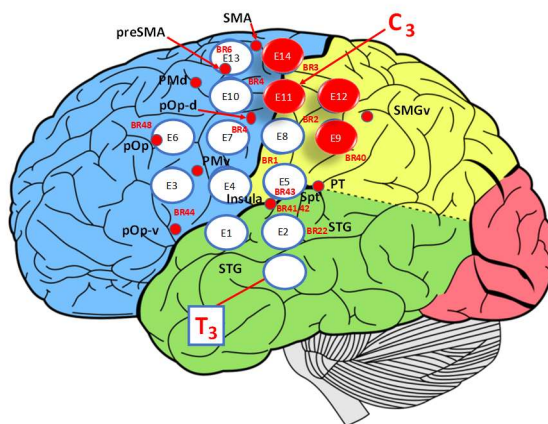
Gráficas comparativas del Imaginario de Vocales /a/ y /o/ IMF1



Nota: Se observa el comparativo del imaginario de vocales /a/ (1) y /o/(2) en relación a los 14 electrodos. A la izquierda y derecha se evidencian las diferencias significativas según las pruebas multivariantes, sin embargo, en las pruebas de efectos iter-sujetos solo evidencian variación entre los electrodos (Gráficas obtenidas con SPSS).

Figura 20

Representación de Actividad Cerebral Diferencial por Electrodo para Imaginario de Vocales /a/ y /o/ IMF1



Nota: La representación resalta la configuración espacial de los electrodos 1 al 14 sobre el hemisferio Izquierdo (HI) en relación al IMF1 para las vocales /a/, /o/, en rojo de mayor a menor diferencias significativas los electrodos E12 y E9 (giro supramarginal ventral SMG-v, broadman BR 2,40 córtex somatosensorial asociativo). E11 y E14 (Broadman BR 3,4 córtex somatosensorial primario y córtex motor respectivamente).

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

A manera de conclusión en relación al IMF1 y las vocales /a/, /o/, se resalta la actividad de los electrodos E12 y E9 sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v. Por otro lado, los electrodos E11 y E14 manifestaron actividad diferencial sobre las áreas de Broadman BR 3,4 correspondientes al córtex somatosensorial primario y córtex motor respectivamente. Según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2007) los electrodos E12, E9, E11 y E14 se encuentran sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensoriomotora y la vía del córtex premotor dorsal (PMd) al límite del surco central en la fisura de Rolando (Véase Figura 20).

El promedio de la prueba EFT de la muestra fue de 10.59; la desviación estándar (DE=3.65). Sobre un puntaje máximo de 18; el valor mínimo fue de 1 y el valor máximo de 18 puntos. Los sujetos fueron agrupados en Dependientes de Campo (DC), intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC), definiendo terciles para el puntaje total en la prueba. De esta forma se identificaron tres rangos de puntajes a saber: (a) 17 sujetos DC (primer tercil), (b) 21 sujetos IntC (segundo tercil), y (c) 13 sujetos IC (tercer tercil). Se excluyeron un total de 19 sujetos reconocidos como casos atípicos (30,21,65,53,22,26, 16,60,55,48,27,4,50,57, 35,69,32,67,54) (Véanse Tablass 7 y 8).

Reporte de resultados IMF 4 /a/, /u/

La prueba de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad fue violado. Los datos muestran que el efecto principal de los PSD en los electrodos es: ($X^2(90) = 847,91$, $p < 0,05$). Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = .17$). Las pruebas multivariantes indican que existen diferencias significativas en el imaginario del habla de las vocales /a/ y /u/ [Traza de Pillai = 0.190, $F(1,48) = 11.27$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0,190$] y los PSD de los electrodos / [Traza de Pillai = 0.553, $F(13,36) = 3.42$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0,553$]. Sin embargo, no existe interacciones dobles significativa entre las variables intra-

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

sujetos y entre las variables intra-sujetos e inter-sujetos, lo que sugiere que los PSD registrados en los 14 electrodos depende del imaginario del habla de las vocales. Las pruebas de efectos intra-sujetos muestran diferencias significativas para el imaginario del habla de las vocales /a/, /u/ con un $F(1,44) = 5.302$, $p = 0.026$, $\eta^2 = 0.108$. De igual forma, la variable Electrodo también muestra diferencias significativas $F(2.026,89.151) = 6.722$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.133$ (Véase Figura 21).

Las pruebas de efectos intra-sujetos muestra diferencias significativas para el imaginario del habla de las vocales /a/, /u/ con $F(1,48) = 11.27$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.190$. De igual forma, la variable Electrodo muestra diferencias significativas $F(2.16,103.43) = 4.74$, $p = 0.009$, $\eta^2 = 0.090$ (Véase Figura 22).

Tabla 7

Factores inter-sujetos IMF4 /a/ y /u/ y dimensión DIC

Factores inter-sujetos	Etiqueta de valor	N	/a/			/u/			
			EFT	Media	DS	EFT	Media	DS	
Agrupación por percentil EFT	1	Dependiente (DC)	17						
	2	Intermedio (IntC)	21	DC	0,33	0,18	DC	0,26	0,17
	3	Independiente (IC)	13	IntC	0,39	0,23	IntC	0,30	0,17
				IC	0,46	0,30	IC	0,27	0,14
				Total	0,30	0,24	Total	0,28	0,16

Nota: Distribución de sujetos por estilo cognitivo en la dimensión DIC y sus respectivas Medias y Desviaciones Estándar (DS) ponderadas para la relación vocal abierta y cerrada /a/ y /u/ correspondiente al IMF 4.

Tabla 8

Resultados de PSD del imaginario de vocales /a/ y /u/ en cada electrodo para el IMF 4

/a/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
EFT	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,40	0,36	0,36	0,22	0,32	0,16	0,33	0,17	0,34	0,17	0,31	0,15	0,32	0,17	0,34	0,16	0,35	0,17	0,32	0,15	0,33	0,16	0,34	0,16	0,31	0,15	0,33	0,15
IntC	0,43	0,28	0,42	0,22	0,36	0,18	0,37	0,19	0,40	0,19	0,33	0,17	0,35	0,20	0,39	0,25	0,40	0,25	0,38	0,22	0,41	0,27	0,40	0,26	0,38	0,25	0,39	0,26
IC	0,48	0,26	0,44	0,23	0,43	0,24	0,42	0,25	0,44	0,27	0,43	0,32	0,44	0,31	0,48	0,34	0,49	0,35	0,44	0,33	0,47	0,33	0,48	0,34	0,46	0,32	0,46	0,34
Total	0,43	0,30	0,41	0,22	0,36	0,19	0,37	0,20	0,39	0,21	0,35	0,22	0,36	0,22	0,40	0,25	0,40	0,26	0,37	0,23	0,40	0,26	0,40	0,26	0,38	0,24	0,39	0,26

/u/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
EFT	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,27	0,17	0,27	0,17	0,25	0,16	0,25	0,16	0,28	0,19	0,24	0,16	0,24	0,16	0,27	0,19	0,27	0,18	0,25	0,17	0,27	0,18	0,26	0,18	0,25	0,17	0,26	0,19
IntC	0,33	0,20	0,33	0,19	0,29	0,16	0,30	0,17	0,31	0,17	0,27	0,15	0,29	0,16	0,32	0,18	0,31	0,17	0,28	0,15	0,29	0,17	0,30	0,17	0,31	0,18	0,29	0,16
IC	0,28	0,15	0,27	0,14	0,26	0,14	0,27	0,14	0,28	0,15	0,26	0,14	0,26	0,14	0,27	0,14	0,28	0,16	0,26	0,14	0,27	0,13	0,28	0,15	0,26	0,13	0,27	0,13
Total	0,29	0,17	0,30	0,17	0,27	0,15	0,28	0,16	0,29	0,17	0,26	0,15	0,26	0,15	0,29	0,17	0,29	0,17	0,26	0,15	0,28	0,16	0,28	0,16	0,28	0,17	0,27	0,16

Nota: Distribución de medias y desviación estándar de acuerdo al estilo cognitivo en la dimensión DIC para señales registradas en 14 electrodos ubicados en el hemisferio izquierdo.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

Las pruebas de contraste intra-sujetos para la variable vocales /a/ y /u/, el contraste (NIVEL 1 vs NIVEL 2). Los datos muestran que los valores promedios de los PSD en la vocal /a/ ($M = 0.39$) difieren de los valores promedios de los PSD de la vocal /u/ ($M = 0.277$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 11.27$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.190$. Para la variable Electroodos, se presentan diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 2 vs. NIVEL 3) el promedio de los PSD generados en el electrodo 2 ($M = 0.35$) con el PSD del electrodo 3 ($M = 0.32$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 13.92$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.225$. El segundo contraste (NIVEL 4 vs. NIVEL 5) muestra un promedio de PSD en el electrodo 4 ($M = 0.32$) con el PSD del electrodo 5 ($M = 0.34$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 8.22$, $p = 0.006$, $\eta^2 = 0.146$. El tercer contraste (NIVEL 5 vs. NIVEL 6) señala un promedio de PSD en el electrodo 5 ($M = 0.34$) con el PSD del electrodo 6 ($M = 0.31$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 20.15$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.296$. Un cuarto contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señala un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.35$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.32$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 36.29$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.431$. El quinto contraste (NIVEL 10 vs. NIVEL 11) señala un promedio de PSD en el electrodo 10 ($M = 0.32$) con el PSD del electrodo 11 ($M = 0.34$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 11.58$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.194$. Finalmente, un sexto contraste (NIVEL 12 vs. NIVEL 13) señala un promedio de PSD en el electrodo 12 ($M = 0.35$) con el PSD del electrodo 13 ($M = 0.33$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 9.49$, $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.165$.

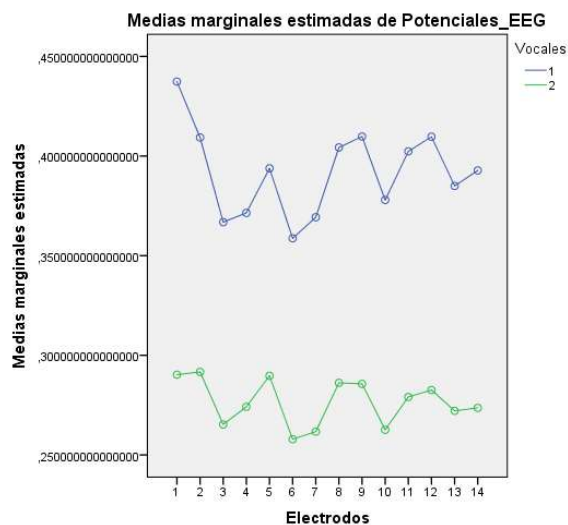
Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los PSD de las vocales /a/ ($M = 0.39$) y /u/ ($M = 0.028$). Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los PSD de los siguientes electrodos: (i) El E2 ($M = 0.35$) es significativamente mayor que el E3 ($M = 0.32$), E4 ($M = 0.32$) y E6 ($M = 0.31$), (ii) el E6 ($M = 0.31$), es significativamente menor que el E5 ($M = 0.34$), E8 ($M = 0.35$), E9 ($M = 0.35$) y E12 ($M = 0.35$). (iii) el E7 ($M = 0.32$), es

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

significativamente menor que el E₈ (M = 0.35), E₉ (M = 0.35) y E₁₂ (M = 0.35) y Finalmente, (iv) el E₁₀ (M = 0.32), es significativamente menor que el E₈ (M = 0.35), E₉ (M = 0.35), y E₁₂(M = 0.35) (Véase Figura 21).

Figura 21

Gráfica Comparativa Medias Marginales Estimadas de PSD para Imaginario de Vocales /a/ y /u/ IMF4



Nota: La Gráfica muestra los resultados para el IMF4 de medias marginales estimadas de PSD para el imaginario de vocales /a/ y /u/ para los 14 electrodos sobre el hemisferio izquierdo (HI) evidenciando diferencias significativas (Gráficas obtenidas con SPSS).

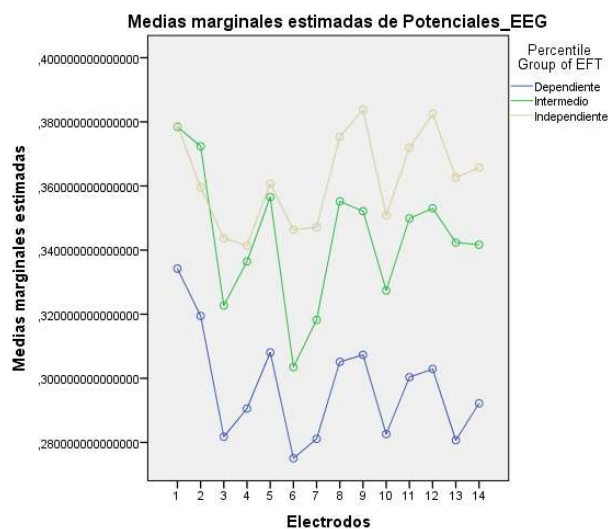
Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que no existen diferencias significativas del imaginario del habla de vocales en los PSD generados en los diferentes electrodos debido al estilo cognitivo de los sujetos. $F(2,48) = 0.75$, $p = 0.477$, $\eta^2 = 0,030$ (Véase Figura 22). A manera de conclusión en relación al IMF4 y las vocales /a/, /u/, se resalta la actividad del electrodo 2 ubicado en el área de broadman BR22 o área de Wernicke sobre el giro temporal superior STG también denominado córtex auditivo asociativo (Véase Figura 23). Así como el electrodo 5 ubicado sobre el área Spt Fisura de Silvio en el límite parieto-temporal entre la ínsula y las áreas de broadman 41, 42 y 43 correspondientes al córtex auditivo primario y asociativo y córtex gustativo respectivamente. Los

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

electrodos E12 y E9 sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v.

Figura 22

Gráfica Comparativa Dimensión DIC y Actividad de Electrodo para Imaginario de Vocales /a/ y /u/ IMF4



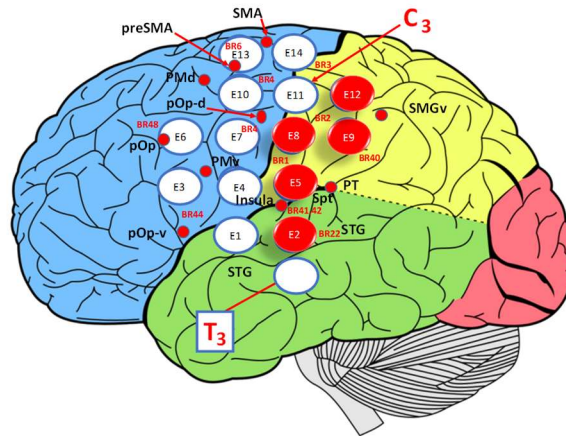
Nota: Gráfica con resultados IMF4 relacionados con el efecto del estilo cognitivo sobre las medias marginales estimadas de PSD en cada uno de los electrodos sobre el hemisferio izquierdo (HI) evidenciando que no hay diferencias significativas (Gráfica obtenida con SPSS).

Por otro lado, el electrodo E8 manifestó actividad diferencial en el área de Broadman BR 1 denominada córtex somatosensorial primaria. Según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2007) el electrodo 2 y 5 se encuentra sobre la vía ventral del procesamiento del habla relacionado con los procesos de comprensión del lenguaje, mientras que los electrodos E12, E9 y E8 se encuentran sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensoriomotora. En el caso del electrodo 8 se diferenció sobre la vía del córtex premotor dorsal (PMd) al límite del surco central próximo a la fisura de Rolando (Véase Figura 23)

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 23

Representación de Actividad Cerebral Diferencial por Electrodo para Imaginario de Vocales /a/ y /u/ IMF4



Nota: El gráfico indica la configuración espacial de los electrodos 1 al 14 sobre el hemisferio izquierdo (HI) en relación al IMF4 para las vocales /a/, /u/, en rojo de mayor a menor diferencias significativas en los electrodos E2 y E5 (giro temporal superior STG, broadman BR 22, 41, 42 y 43 del córtex auditivo primario y asociativo e ínsula), E12, E9 y E8 (giro supramarginal ventral SMG-v, broadman BR 1, 2 y 40 córtex somatosensorial primario y asociativo).

Reporte de resultados IMF 8 /a/, /o/

El promedio de la prueba EFT de la muestra fue de 10.67; la desviación estándar (DE=3.72). Sobre un puntaje máximo de 18; el valor mínimo fue de 1 y el valor máximo de 18 puntos. Los sujetos fueron agrupados en Dependientes de Campo (DC), intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC), definiendo terciles para el puntaje total en la prueba. De esta forma se identificaron tres rangos de puntajes a saber: (a) 15 sujetos DC (primer tercil), (b) 17 sujetos IntC (segundo tercil), y (c) 13 sujetos IC (tercer tercil). Se excluyeron un total de 25 sujetos de los cuales 17 se reconocieron como casos atípicos (55,48,67,34,26,35,24,54,21,46,50,20,32,40,27, 62,53) y 8 por no incluirse en ningún tercil (22,65,69,4,16,57,60) (Véanse Tablas 9 y 10).

La prueba de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad fue violado. Los datos muestran que el efecto principal de los PSD en los electrodos es: (X (90) =967.692, $p < 0.05$) y en la interacción vocales*electrodos es: (X (90) =972.994, $p < 0.05$). Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

Greenhouse-Geisser ($\epsilon = 0.24$ y 0.17 respectivamente). Las pruebas multivariantes indican que existen diferencias significativas en vocales [Traza de Pillai = 0.096 , $F(1,42) = 4.458$, $p=0.041$, $\eta^2 = 0.096$] y los PSD de los electrodos [Traza de Pillai = 0.771 , $F(13,30) = 7.761$, $p<0.001$, $\eta^2 = 0.771$]. Sin embargo, no existe diferencias significativas entre dobles interacciones, lo que sugiere que los PSD registrados en la interacción con los 14 electrodos explica las diferencias de forma significativa entre el imaginario del habla vocales /a/, /o/ (Véase Figuras 24 der).

Tabla 9

Factores inter-sujetos IMF 8 /a/ y /o/ con Dimensión DIC

Factores inter-sujetos		Etiqueta de valor	N	/a/			/o/		
				EFT	PROM	DS	EFT	PROM	DS
Agrupación por percentil EFT	1	Dependiente (DC)	15	DC	0,11	0,13	DC	0,11	0,10
	2	Intermedio (IntC)	17	IntC	0,09	0,11	IntC	0,06	0,04
	3	Independiente (IC)	13	IC	0,29	0,37	IC	0,14	0,20
				Total	0,16	0,23	Total	0,10	0,13

Nota: Distribución de sujetos por estilo cognitivo en la dimensión DIC y sus respectivas Medias y Desviaciones Estándar (DS) ponderadas para la relación vocal abierta y cerrada /a/ y /o/ correspondiente al IMF 8.

Tabla 10

Resultados de PSD del imaginario de vocales /a/ y /o/ en cada electrodo para el IMF 8

/a/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,12	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,10	0,12	0,14	0,14	0,12	0,15	0,11	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,12	0,13	0,11	0,13
IntC	0,10	0,14	0,10	0,13	0,09	0,10	0,09	0,11	0,11	0,11	0,08	0,10	0,08	0,10	0,10	0,11	0,10	0,13	0,08	0,10	0,08	0,10	0,09	0,11	0,08	0,10	0,08	0,10
IC	0,31	0,33	0,26	0,28	0,24	0,28	0,26	0,30	0,29	0,33	0,28	0,37	0,27	0,35	0,33	0,40	0,33	0,45	0,29	0,39	0,30	0,41	0,30	0,42	0,29	0,40	0,29	0,40
Total	0,17	0,23	0,15	0,20	0,14	0,19	0,15	0,20	0,16	0,22	0,15	0,23	0,14	0,22	0,18	0,25	0,18	0,28	0,15	0,24	0,15	0,25	0,16	0,26	0,15	0,25	0,15	0,24
/o/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,11	0,09	0,11	0,09	0,10	0,08	0,11	0,09	0,10	0,08	0,10	0,09	0,12	0,09	0,15	0,18	0,12	0,10	0,11	0,09	0,11	0,09	0,11	0,09	0,12	0,11	0,11	0,09
IntC	0,06	0,04	0,05	0,03	0,05	0,04	0,05	0,03	0,06	0,04	0,05	0,04	0,07	0,06	0,07	0,05	0,06	0,04	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04
IC	0,12	0,13	0,11	0,12	0,12	0,15	0,12	0,15	0,12	0,14	0,13	0,19	0,12	0,18	0,21	0,35	0,14	0,20	0,13	0,19	0,22	0,39	0,13	0,20	0,13	0,20	0,13	0,19
Total	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,12	0,10	0,12	0,14	0,22	0,10	0,13	0,09	0,12	0,12	0,22	0,09	0,12	0,10	0,13	0,09	0,12

Nota: Distribución de la media y desviación estandar de acuerdo al estilo cognitivo en la dimensión DIC para señales registradas en 14 electrodos ubicados en el hemisferio izquierdo.

Las pruebas de efectos intra-sujetos presenta diferencias significativas en las vocales /a/, /o/ con un $F(1,42) = 4.458$, $p = 0.041$, $\eta^2 = 0,096$. Por otro lado, los electrodos muestran diferencias significativas con un $F(3.133,131.566) = 3.434$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.076$. No se identifican diferencias significativas entre dobles interacciones (Véase Figura 24).

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

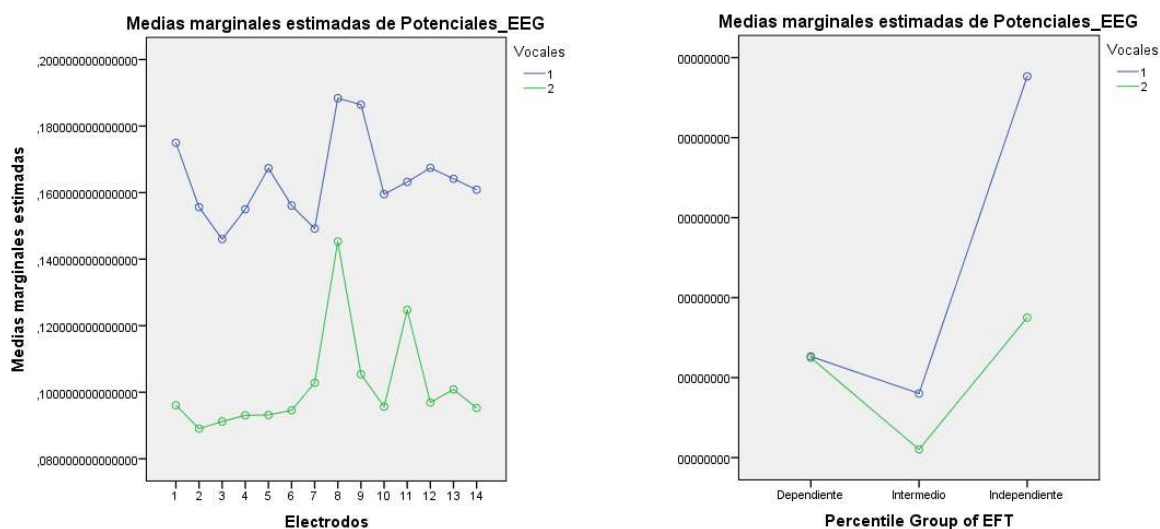
Las pruebas de contraste intra-sujetos para la variable vocales, el contraste (NIVEL 1 vs NIVEL 2). Los datos muestran que los valores promedios de los PSD en la vocal /a/ ($M = 0.16$) difieren de los valores promedios de los PSD de la vocal /o/ ($M = 0.10$). Este contraste es significativo, $F(1,42) = 4.458$, $p = 0.041$, $\eta^2 = 0.096$. La variable Electrodo, se presentan diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 1 vs. NIVEL 2) el promedio de los PSD generados en el electrodo 1 ($M = 0.14$) con el PSD del electrodo 2 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,42) = 6.909$, $p = 0.012$, $\eta^2 = 0.141$. El segundo contraste (NIVEL 3 vs. NIVEL 4) muestra un promedio de PSD en el electrodo 3 ($M = 0.12$) con el PSD del electrodo 4 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,42) = 11.170$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.210$. El tercer contraste (NIVEL 7 vs. NIVEL 8) señala un promedio de PSD en el electrodo 7 ($M = 0.13$) con el PSD del electrodo 8 ($M = 0.18$). Este contraste es significativo, $F(1,42) = 9.208$, $p = 0.004$, $\eta^2 = 0.180$. Un cuarto contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señala un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.15$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.13$). Este contraste es significativo, $F(1,42) = 18.986$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.311$. Con relación a la interacción vocales*electrodos se evidenciaron diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 2 vs. NIVEL 3) el promedio de los PSD generados en el electrodo 2 ($M = 0.12$) con el PSD del electrodo 3 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,42) = 4.409$, $p = 0.042$, $\eta^2 = 0.095$. El segundo contraste (NIVEL 3 vs. NIVEL 4) muestra un promedio de PSD en el electrodo 3 ($M = 0.12$) con el PSD del electrodo 4 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,42) = 9.237$, $p = 0.004$, $\eta^2 = 0.180$. El tercer contraste (NIVEL 6 vs. NIVEL 7) señala un promedio de PSD en el electrodo 6 ($M = 0.12$) con el PSD del electrodo 7 ($M = 0.13$). Este contraste es significativo, $F(1,42) = 5.026$, $p = 0.030$, $\eta^2 = 0.107$. Un cuarto contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señala un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.15$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.13$). Este contraste es significativo, $F(1,42) = 5.065$, $p = 0.030$, $\eta^2 = 0.108$. Finalmente, la interacción intra e inter sujetos presenta un contraste vocal, electrodo y estilo cognitivo para el imaginario del habla de vocales

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

/a/ (M =0.16) y /o/ (M =0.10) (NIVEL 3 vs. NIVEL 4) señalando un promedio de PSD en el electrodo 3 (M = 0.12) con el PSD del electrodo 4 (M = 0.12). Este contraste es significativo, $F(2,42) = 4.376$, $p = 0.019$, $\eta^2 = 0.172$.

Figura 24

Gráficas Comparativas entre la Actividad de Electrodo y el Imaginario de Vocales /a/ y /o/ IMF8



Nota: Las gráficas muestran los resultados para el IMF8 comparando el comportamiento de las vocales /a/ (1) y /o/ (2) en relación a los electrodos. A la izquierda se observan diferencias significativas entre vocales en relación a los electrodos. A la derecha se identifican diferencias significativas entre el grupo de estilo cognitivo Intermedio (IntC) e Independiente de campo (IC) según pruebas post hoc (Sig.= 0.033)(Gráfica obtenida con SPSS).

Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los PSD de las vocales /a/ (M =0.16) y /o/ (M =0.10). Por otro lado, se evidencian diferencias significativas entre el electrodo (i) El E9 (M = 0.15), el cual es significativamente mayor que el E6 (M = 0.12), E10 (M = 0.13), E12 (M = 0.13) y E14 (M = 0.13) (Véase Figuras 24 izq y der).

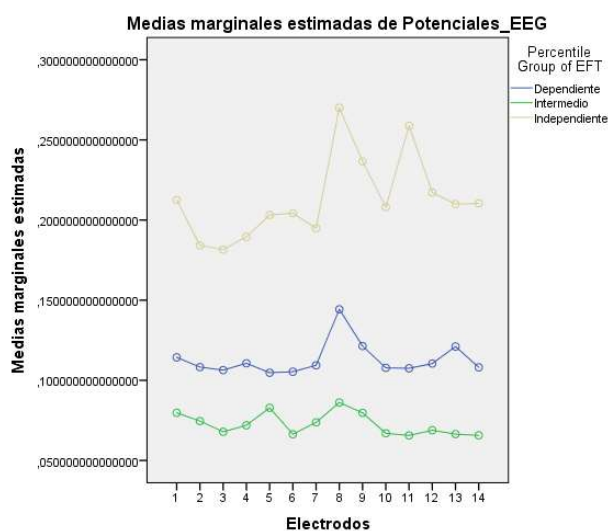
Finalmente, a pesar que no se evidenciaron diferencias significativas en las interacciones dobles intrasujetos e intersujetos, la prueba post hoc identificó diferencias significativas entre el estilo cognitivo

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

Intermedio e independiente de campo (Véase Figura 25). Los resultados obtenidos con Bonferroni indican que el estilo cognitivo intermedio (IntC) difiere significativamente con el estilo cognitivo independiente de campo (IC) (Sig.= 0.033), mientras que la relación Dependiente de campo (DC) con intermedio (Sig.= 1.0) e independiente (0.216) no evidenció diferencias significativas.

Figura 25

Comparativo entre la Dimensión DIC y la actividad de electrodos durante el Imaginario de Vocales /a/ y /o/ IMF8



Nota: Gráficas de resultados IMF8 comparando el comportamiento de los estilos cognitivos DC, IntC y DC en relación a los electrodos. Las pruebas post hoc indican diferencias significativas entre los IC y los IntC (Sig.=0.033) (Gráfica obtenida con SPSS).

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que existen diferencias significativas en la intersección de los PSD generados en los diferentes electrodos debido al efecto sobre las vocales. $F(1,42) = 38.304$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.477$. De la misma forma, el NEFT en esta prueba reporta diferencias significativas $F(2,42) = 3.647$, $p = 0.035$, $\eta^2 = 0.148$ (Véase Figura 25).

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que existen diferencias significativas en la intersección de los PSD generados en los diferentes electrodos debido al efecto sobre

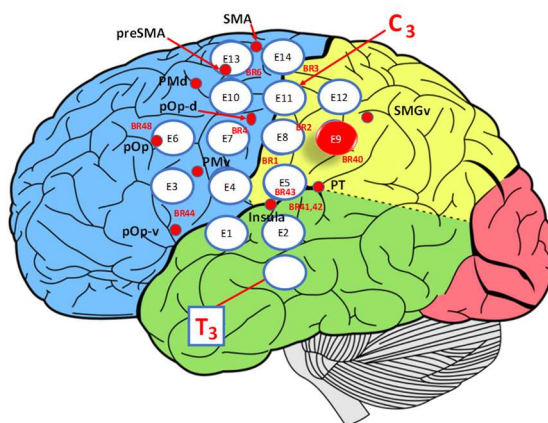
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

las vocales. $F(1,42) = 38.304$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.477$. De la misma forma, el NEFT en esta prueba reporta diferencias significativas $F(2,42) = 3.647$, $p = 0.035$, $\eta^2 = 0.148$ (Véase Figura 24 izq y der).

A manera de conclusión en relación al IMF8 y las vocales /a/, /o/, se resalta la actividad del electrodo E9, el cual manifiesta actividad sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v. Según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2007) el electrodo E9 se encuentra sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensoriomotora (Véase Figura 26).

Figura 26

Representación de Actividad Cerebral Diferencial por Electrodo para Imaginario de Vocales /a/ y /o/ IMF8



Nota: Gráfico indicando la configuración espacial de los electrodos 1 al 14 sobre el hemisferio izquierdo (HI) en relación al IMF8 para las vocales /a/, /o/, en rojo diferencias significativas para el electrodo E9 (giro supramarginal ventral SMG-v, broadman BR 2 y 40 córtex somatosensorial asociativo).

Reporte de resultados IMF 8 /a/, /u/

El promedio de la prueba EFT de la muestra fue de 10.69; la desviación estándar (DE=3.69). Sobre un puntaje máximo de 18; el valor mínimo fue de 1 y el valor máximo de 18 puntos. Los sujetos

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

fueron agrupados en Dependientes de Campo (DC), intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC), definiendo terciles para el puntaje total en la prueba. De esta forma se identificaron tres rangos de puntajes a saber: (a) 15 sujetos DC (primer tercil), (b) 18 sujetos IntC (segundo tercil), y (c) 13 sujetos IC (tercer tercil). Se excluyeron un total de 24 sujetos de los cuales 17 se reconocieron como casos atípicos (65,24,55,34,46,35,48,26, 32,21,53,57,27,62,67,54,40) y 7 por no incluirse en ningún tercil (69,50,4,16,30,22,60) (Véanse Tablas 11 y 12).

Tabla 11

Factores inter-sujetos IMF8 /a/ y /u/ con dimensión DIC.

Factores inter-sujetos	Etiqueta de valor	N	/a/			/u/			
			EFT	Media	DS	EFT	Media	DS	
Agrupación por percentil EFT	1	Dependiente (DC)	15	DC	0,11	0,13	DC	0,07	0,10
	2	Intermedio (IntC)	18	IntC	0,09	0,11	IntC	0,07	0,07
	3	Independiente (IC)	13	IC	0,29	0,37	IC	0,09	0,10
			Total	0,16	0,23	Total	0,08	0,09	

Nota: Distribución de sujetos por estilo cognitivo en la dimensión DIC y sus respectivas Medias y Desviaciones Estándar (DS) ponderadas para la relación vocal abierta y cerrada /a/ y /u/ correspondiente al IMF 8

Tabla 12

Resultados de PSD del imaginario de vocales/a/ y /u/ en cada electrodo para el IMF 8

/a/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14		
EFT	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	
DC	0,12	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,10	0,12	0,14	0,14	0,12	0,15	0,11	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,12	0,13	0,11	0,13	
IntC	0,10	0,13	0,10	0,13	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10	0,09	0,10	0,08	0,09	0,11	0,11	0,10	0,13	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,11	0,09	0,11	0,08	0,10	
IC	0,31	0,33	0,26	0,28	0,24	0,28	0,26	0,30	0,29	0,33	0,28	0,37	0,27	0,35	0,33	0,40	0,33	0,45	0,29	0,39	0,30	0,41	0,30	0,42	0,29	0,40	0,29	0,40	
Total	0,17	0,22	0,15	0,19	0,14	0,18	0,15	0,20	0,16	0,21	0,15	0,23	0,14	0,22	0,18	0,25	0,18	0,28	0,15	0,24	0,15	0,25	0,16	0,26	0,16	0,25	0,15	0,24	
/u/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14		
EFT	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	
DC	0,07	0,10	0,07	0,10	0,07	0,10	0,07	0,10	0,07	0,09	0,07	0,10	0,07	0,10	0,09	0,12	0,08	0,12	0,07	0,10	0,07	0,11	0,07	0,10	0,06	0,06	0,07	0,11	
IntC	0,07	0,05	0,06	0,05	0,07	0,05	0,07	0,05	0,07	0,07	0,06	0,05	0,06	0,05	0,13	0,24	0,07	0,05	0,06	0,05	0,07	0,07	0,06	0,05	0,09	0,12	0,06	0,05	
IC	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,13	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,09	0,10	
Total	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,09	0,08	0,09	0,07	0,08	0,07	0,08	0,10	0,17	0,08	0,09	0,07	0,08	0,09	0,07	0,08	0,09	0,07	0,08	0,08	0,10	0,07

Nota: Distribución de la media y desviación estandar de acuerdo al estilo cognitivo en la dimensión DIC para señales registradas en 14 electrodos ubicados en el hemisferio izquierdo.

La prueba de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad fue violado. Los datos muestran que el efecto principal de los PSD en los electrodos es: $(X(90) = 929.753, p < 0.05)$ y en la interacción vocales*electrodos es: $(X(90) = 996.987, p < 0.05)$. Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = 0.28$ y 0.26 respectivamente). Las pruebas multivariantes indican que existen

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

diferencias significativas en vocales [Traza de Pillai = 0.118, $F(1,43) = 5.765$, $p=0.021$, $\eta^2 =0.118$] y los PSD de los electrodos [Traza de Pillai = 0.728, $F(13,31) = 6.382$, $p<0.001$, $\eta^2 =0.728$]. Sin embargo, no existe diferencias significativas entre dobles interacciones, lo que sugiere que los PSD registrados en la interacción con los 14 electrodos explica las diferencias de forma significativa entre el imaginario del habla de las vocales /a/, /u/ (Véanse Figuras 27 izq y der).

Las pruebas de efectos intra-sujetos presenta diferencias significativas en las vocales /a/,/u/ con un $F(1,43) = 5.765$, $p =0.021$, $\eta^2 =0,118$. Por otro lado, los electrodos muestran diferencias significativas con un $F(3.644,156.712) = 3.485$, $p =0.012$, $\eta^2 =0.075$. No se identifican diferencias significativas entre dobles interacciones (Véase Figura 27 der).

Las pruebas de contraste intra-sujetos para la variable vocales, el contraste (NIVEL 1 vs NIVEL 2). Los datos muestran que los valores promedios de los PSD en la vocal /a/ ($M = 0.16$) difieren de los valores promedios de los PSD de la vocal /u/ ($M = 0.08$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 5.765$, $p=0.021$, $\eta^2 =0,118$. La variable Electrodo, presenta diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 1 vs. NIVEL 2) el promedio de los PSD generados en el electrodo 1 ($M = 0.13$) con el PSD del electrodo 2 ($M = 0.11$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 6.081$, $p = 0.018$, $\eta^2 =0.124$. El segundo contraste (NIVEL 3 vs. NIVEL 4) muestra un promedio de PSD en el electrodo 3 ($M = 0.11$) con el PSD del electrodo 4 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 15.341$, $p <0.001$, $\eta^2 =0.263$. El tercer contraste (NIVEL 6 vs. NIVEL 7) señala un promedio de PSD en el electrodo 6 ($M = 0.12$) con el PSD del electrodo 7 ($M = 0.11$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 21.391$, $p <0.001$, $\eta^2 =0.332$. Un cuarto contraste (NIVEL 7 vs. NIVEL 8) señala un promedio de PSD en el electrodo 7 ($M = 0.11$) con el PSD del electrodo 8 ($M = 0.15$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 9.709$, $p =0.003$, $\eta^2 =0.184$. Un quinto contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señala un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.13$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,43) =$

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

23.389, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.352$. Con relación a la interacción vocales*electrodos se evidenciaron diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 4 vs. NIVEL 5) el promedio de los PSD generados en el electrodo 4 ($M = 0.12$) con el PSD del electrodo 5 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 4.436$, $p = 0.041$, $\eta^2 = 0.094$. El segundo contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) muestra un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.13$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 4.543$, $p = 0.039$, $\eta^2 = 0.096$. Finalmente, se relaciona el contraste electrodos y estilo cognitivo NEFT (NIVEL 3 vs. NIVEL 4) señalando un promedio de PSD en el electrodo 3 ($M = 0.11$) con el PSD del electrodo 4 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(2,43) = 4.863$, $p = 0.012$, $\eta^2 = 0.096$. Finalmente, a pesar que no se evidenciaron diferencias significativas en las interacciones dobles intrasujetos e intersujetos, la prueba post hoc identificó diferencias significativas entre el estilo cognitivo Intermedio e independiente de campo. Los resultados obtenidos con Bonferroni indican que el estilo cognitivo intermedio (IntC) difiere significativamente con el estilo cognitivo independiente de campo (IC) (Sig.= 0.028), mientras que la relación Dependiente de campo (DC) con intermedio (Sig.= 1.0) e independiente (0.063) no evidenció diferencias significativas (Véanse Figuras 27 y 28).

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que existen diferencias significativas en la intersección de los PSD generados en los diferentes electrodos debido al efecto sobre las vocales. $F(1,43) = 55.674$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.564$. De la misma forma, el NEFT en esta prueba reporta diferencias significativas $F(2,43) = 4.257$, $p = 0.021$, $\eta^2 = 0.165$ (Véanse Figuras 27 y 28).

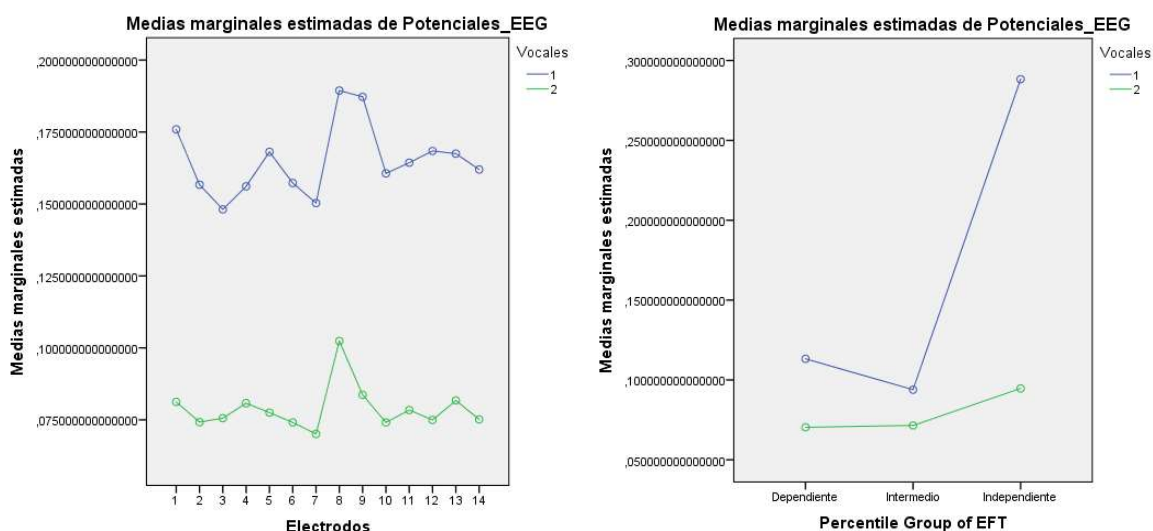
A manera de conclusión en relación al IMF8 y las vocales /a/, /u/, se resalta la actividad del electrodo E9, el cual manifiesta actividad sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v. Le

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

sigue e electrodo E4, evidenciando actividad en el córtex premotor y motor sobre el área BR4 y BR6, seguido del electrodo E10 relacionado con el área de broadman BR 6 donde se ubica el córtex premotor. Se finaliza con el electrodo E6, evidenciando actividad sobre las áreas BR 8 y 44 correspondientes al córtex motor secundario y área de Broca. Según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2007) el electrodo E9 se encuentra sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensoriomotora (Véase Figura 29).

Figura 27

Gráficas Comparativas entre la Actividad de Electrodo y el Imaginario de Vocales /a/ y /u/ IMF8



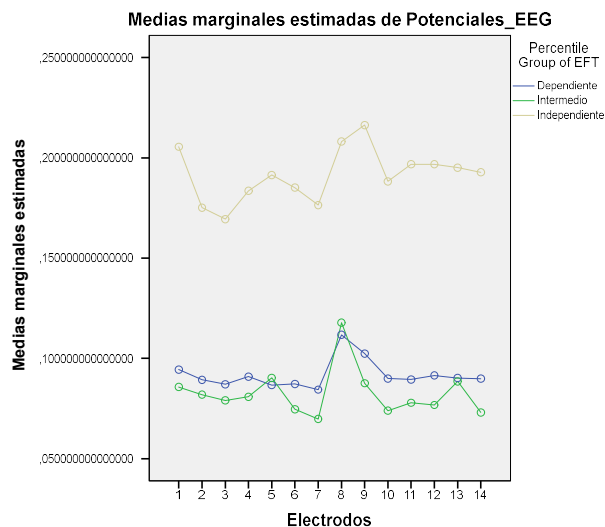
Nota: Gráficas de resultados IMF8 comparando el comportamiento de las vocales /a/ (1) y /u/ (2) en relación a los electrodos. A la izquierda se observan diferencias significativas entre vocales en relación a los electrodos. A la derecha se identifican diferencias significativas entre el grupo de estilo cognitivo Intermedio (IntC) e Independiente de campo (IC) según pruebas post hoc (Sig. = 0.033) (Gráficas obtenidas con SPSS).

El electrodo E6 tendrían relación con el imaginario de vocales en la categoría de imaginaria del habla dada su relación con el córtex motor secundario y el área de Broca. Por tanto, el efecto sobre los electrodos E4 y E10 relacionados con el córtex motor y premotor, donde se prepara el gesto motor correspondiente al imaginario de la vocalización de la /a/ y /u/.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 28

Comparativo entre la Dimensión DIC y la actividad de electrodos durante el Imaginario de Vocales /a/ y /u/ IMF8



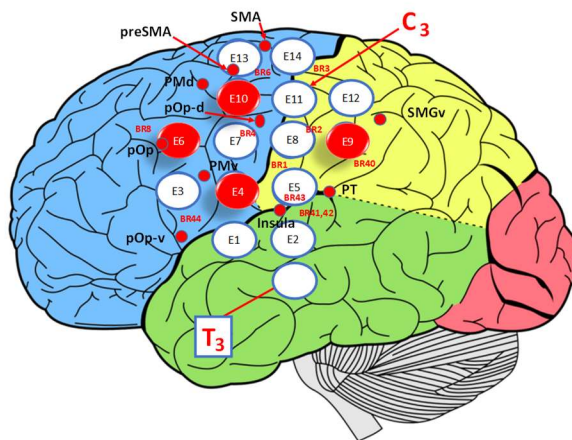
Nota: La gráfica muestra los resultados de la capa IMF8 comparando el comportamiento de los estilos cognitivos DC, IntC y DC en relación a los electrodos. Las pruebas post hoc indican diferencias significativas entre los IC y los IntC (Sig.=0.033)(Gráficas obtenidas con SPSS).

La actividad de los electrodos E4, E6 y E10 ocurre sobre lo que en el modelo de Hickok y Poeppel (2007) le denominan giro frontal posterioinferior o pIFG (del inglés *posterior inferior frontal gyrus*) y el córtex premotor PM justo en el área del córtex pre-motor suplementario (pre-SMA), donde se realiza la planeación motora orofacial generada en el pars-opercularis ventral izquierdo (pOp-d E4) y el pars-opercularis dorsal izquierdo (pOp-d E10), finalizando en el pars-opercularis izquierdo (pOp E6) o área de Broca (Véase Figura 29).

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 29

Representación de Actividad Cerebral Diferencial por Electrodo para Imaginario de Vocales /a/ y /u/ IMF8



Nota: El gráfico indica la configuración espacial de los electrodos 1 al 14 sobre el hemisferio Izquierdo (HI) en relación al IMF8 para las vocales /a/, /u/, en rojo diferencias significativas para el electrodo E9 (giro supramarginal ventral SMG-v, broadman BR 2 y 40 córtex somatosensorial asociativo). Así como los electrodos 4 y 10 (córtex motor y premotor áreas de broadman BR 4 y 6) y el electrodo E6 (áreas de broadman BR 8 y 44 en el cortex motor secundario y el área de Broca respectivamente).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Discusión de Resultados

La presente investigación estimó y evaluó la relación entre el imaginario del habla de las vocales /a/, /e/, /i/, /o/, /u/ abiertas y cerradas, el estilo cognitivo, para la dimensión Dependencia / Independencia de campo (DIC) y el origen espacial de las señales emitidas sobre una configuración con 14 electrodos distribuidos en el hemisferio izquierdo (HI) en un grupo de 70 hispanohablantes, de tal forma que fué posible explicar la variabilidad de la señal Voluntaria no-motora EEG representada en las funciones de modo intrínsecas IMF estimadas a partir de la implementación del algoritmo Descomposición en Modo Empírico Multivariante Intrínsecamente Transformado de Proyección Adaptativa APIT-MEMD, obtenido a partir del espectro de potencia PSD ponderado, extraído del dominio de la frecuencia usando la transformada de Hilbert-Huang (HHT).

La investigación se caracterizó por el control de variables que afectan la atención del sujeto durante la adquisición de las señales EEG como son el ruido del ambiente, luminosidad, adaptación de los electrodos sobre el hemisferio izquierdo, un sistema portátil de adquisición de señales EEG modificado EMOTIV y un sistema de sincronización de la tarea cognitiva que emplea un marcador luminoso de tipo led que indica el inicio y final de toda repetición del imaginario del habla de cada vocal. Los IMF obtenidos se estudiaron estadísticamente empleando un análisis mixto de medidas repetidas con lo que se estimó de forma multivariada las diferencias significativas, así como su respectiva interpretación con base al modelo del procesamiento de lenguaje en humanos propuesto por Hickok y Poeppel (2004, 2012). como se resalta a continuación.

Se reporta un total de 14 IMFs con diferencias significativas que pueden categorizarse en tres grupos, el primer grupo presenta correlaciones entre vocales, electrodos y estilos cognitivos, el segundo solo presenta diferencias significativas entre vocales y finalmente esta el grupo que correlaciona interacciones dobles entre vocales y electrodos o entre electrodos y la prueba NEFT.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Correlaciones entre Vocales, Electrodos y Estilos Cognitivos

El primer grupo corresponde al IMF 8 donde se evidenciaron diferencias significativas para la combinación de vocales abiertas y cerradas relacionadas con el imaginario de vocales /a/-/o/ y /a/-/u/ en una población de 46 y 47 sujetos respectivamente con una exclusión del 32.5 % por considerarse casos atípicos o redundantes en la prueba EFT. Los promedios de PSD, especialmente para los IC que doblaron los obtenidos por DC e IntC lo corroboran. Las diferencias entre /a/ (promedio total= 0.16, DS 0.23) y /o/ (promedio total= 0.10, DS=0.13), así como para /a/ (promedio total= 0.16, DS 0.23) y /u/ (promedio total= 0.8, DS=0.09) confirman el supuesto de diferenciación.

La prueba de Mauchly en los dos casos fue violada y corregida con Greenhouse-Geisser /a/-/o/ para electrodos y vocales*electrodos ($\epsilon = 0.24$ y 0.17 respectivamente) y /a/-/u/ ($\epsilon = 0.28$ y 0.26 respectivamente) cumpliendo con el supuesto de esfericidad. Las pruebas de efectos intrasujetos confirman la variación con un $p < 0.05$ siendo mayor en el caso de la comparación entre /a/-/u/ ($p = 0.021$, $\eta^2 = 0.118$) que en /a/-/o/ ($p = 0.041$, $\eta^2 = 0.096$).

Las pruebas de contraste intrasujetos reportaron actividad diferencial para vocales /a/-/o/ y /a/-/u/, en sus electrodos para 4 y 5 niveles respectivamente y en las interacciones dobles intrasujetos e intersujetos vocal*electrodo*NEFT en el NIVEL 3 vs. NIVEL 4 para la comparación /a/-/o/. Por otro lado, los dos casos comparativos /a/-/o/ y /a/-/u/ evidenciaron en la prueba post-hoc actividad diferencial con Bonferroni entre el estilo cognitivo intermedio (IntC) e independiente de campo (IC) (Sig.= 0.033), lo que se corrobora especialmente en la prueba intersujetos (Véanse Figuras 27 y 28 para /a/-/u/ IMF8).

Como complemento al análisis cuantitativo descrito, se incluye una interpretación cualitativa en función de los electrodos que se activaron relacionados con las vocales abiertas y cerradas /a/-/o/ y /a/-/u/ resaltando inicialmente, el electrodo 9 ubicado sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v y los electrodos E4, ubicado sobre el córtex premotor y motor en el área BR4 y BR6, seguido del electrodo E10 relacionado con el área de broadman BR 6 donde se ubica el córtex premotor y finalizando con el electrodo E6, que manifiesta actividad sobre las áreas BR 8 y 44 correspondientes al córtex motor secundario y área de Broca. En el primer caso, el electrodo E9 presenta una tendencia a activarse en la mayoría de los IMFs reportados, Sin embargo, la actividad de los electrodos E4, E6 y E10 son una novedad entre los IMFs.

El modelo de Hickok y Poeppel (2012) relaciona el efecto de dichos electrodos sobre el giro frontal posterioinferior o pIFG (del inglés *posterior inferior frontal gyrus*) y el córtex premotor PM justo en el área del córtex pre-motor suplementario (pre-SMA), donde se realiza la planeación motora orofacial generada en el pars-opercularis ventral izquierdo (pOp-d E4) y el pars-opercularis dorsal izquierdo (pOp-d E10), finalizando en el pars-opercularis izquierdo (pOp E6) o área de Broca (Véase Figura 29). El electrodo E9 se encuentra sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensoriomotora. El electrodo E6 tendría relación con el imaginario de vocales dada su relación con el córtex motor secundario y el área de Broca. Por tanto, el efecto sobre los electrodos E4 y E10 relacionados con el córtex motor y premotor, donde se prepara el gesto motor correspondiente a imaginario de la vocalización de la /a/-/u/, describiendo de tal forma la vía dorsal de procesamiento del habla propuesto por Hickok y Poeppel (2012) al involucrar estructuras en la región temporal posterior y el lóbulo frontal posterior (Véanse Figuras 5 y 6).

Los resultados obtenidos para el IMF8 en el imaginario de vocales /a/-/o/ y /a/-/u/ confirman los postulados de Witkin et al., (1962) en relación a la teoría de la diferenciación neurofisiológica por especialización hemisférica, determina por la variación de actividad generada durante las tareas de

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

imaginario del habla de vocales en la señal EEG Espontánea no-motora. Esto indica que la apuesta al diseño de una configuración sobre el hemisferio izquierdo con la resolución de 14 electrodos junto con la correlación establecida utilizando la prueba de figuras enmascaradas EFT estima positivamente la diferenciación de sujetos Intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC) empleando las señales generadas durante el imaginario de vocales /a/-/o/ y /a/-/u/. Esto se encuentra en línea con la postura de la localización cerebral de los procesos involucrados en la Dimensión DIC y la lateralización de procesos cognitivos como son los relacionados con el procesamiento de lenguaje.

Los resultados obtenidos indican limitaciones para la identificación de diferencias significativas entre las vocales /e/-/o/, /e/-/u/; /i/-/o/, /i/-/u/, tanto como al combinar todas las vocales /a/-/e/-/i/-/o/-/u/. La razón que lo explica está en función a la similitud del imaginario del habla tanto como el bajo margen de diferenciación. Esto sugiere dos alternativas de solución, por un lado, emplear métodos de optimización que permitan clasificar las leves diferencias de dichas combinaciones sobre la señal EEG Voluntaria. Por otro lado, se podría modificar la tarea por el imaginario de la vocalización, también llamado articulación encubierta, con el propósito de acentuar la actividad diferencial sobre el área de Broca.

Otro elemento a considerar es la exclusión del 32.5% de los sujetos en un total de 70 participantes, dado que aún en condiciones controladas hubo similitudes en la categorización de sujetos a partir del EFT y casos atípicos que requieren de un análisis neuropsicológico que explique el porqué de su comportamiento cognitivo reflejado en la señal EEG, debido a que el tamaño de la muestra afecta de forma significativa los resultados inter e intrasujetos en el análisis mixto de medidas repetidas multivariante, esto implica examinar dominancia hemisférica, sexo y/o hemisfericidad entre otras.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Adicionalmente, se debe considerar el efecto del estilo cognitivo sobre la actividad cerebral en el hemisferio izquierdo, los resultados indican diferencias significativas entre sujetos Intermedios (IntC) y sujetos independientes de campo (IC), donde se esperaría mayor diferencia en los extremos, es decir, entre dependientes de campo (DC) e Independientes de Campo (IC), esto se explica debido a que los DC obtuvieron un promedio en el PSD ($M = 0.11$, $DS = 0.13$) que se acercaba más a los IC en comparación a los IntC ($M = 0.09$ $DS = 0.11$ /a/, $M = 0.06$ $DS = 0.20$ /o/). Sin embargo, en el caso que no se incluyeran los casos IntC serían los DC quienes manifestarían dichas diferencias significativas con relación al grupo IC.

Adicionalmente, es de resaltar que los resultados entre los IntC y los DC por su similitud en el promedio del PSD no se considerarían como dos grupos diferentes. En consecuencia, la distribución espacial relacionada con los electrodos E9, E4, E10 y E8 en el hemisferio izquierdo son apoyados con resultados publicados por Earle et al., (1996) en tareas de operadores verbales, Glass y Riding (1999) para los estilos verbalizadores-holistas en a región anterotemporal, Hao et al., (2013) quien contrastó con fMRI en el lóbulo parietal inferior izquierdo con los resultados del EFT para la dimensión DIC. La atención selectiva y memoria de trabajo en la dimensión DIC favoreciendo al grupo IC según reporte de Jia, Zhan y Li (2014) entre otros trabajos que se basan en la localización cerebral y diferenciación hemisférica por lateralización.

En consideración al modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2012) sobre el procesamiento de lenguaje, el presente estudio identifica una actividad de electrodos que manifiesta diferenciación intrasujetos relacionado con el imaginario de las vocales abiertas y cerradas /a/-/o/ y /a/-/u/ indicando una correlación intersujetos diferencial para los estilos cognitivos IntC e IC. Los datos concuerdan con los resultados evidenciados con técnicas invasivas ECoG según Pei et al. (2011), Brumberg et al. (2011,2016) e Ikeda et al. (2014) en el hemisferio izquierdo (Véase Figura 8 en contraste con las Figuras 26 y 29), así como los obtenidos con *Machine Learning* desarrollados por Callan et al., (2000), DaSalla et al. (2009),

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Yoshimura et al.(2011), Matsumoto (2014), Sarmiento et al. (2014), Riaz et al. (2014), Iqbal, Khan, y Farooq, (2015), Coretto, Gareis y Rufine (2016) y Agarwal et al. (2020) y estilos cognitivos diferenciados por señales EEG de tipo ERP reportados por Federico (1984) en relación a las áreas de broadman 9,10,11 y 12, especialmente en lo referente a la diferenciación entre /a/-/u/, aún cuando estas sean realizadas en población nativa anglosajona o japonesa.

Se sugiere realizar un mapeo y delimitación del efecto del PSD con una mayor cantidad de áreas activas y diferenciables no solo del procesamiento del imaginario del habla de vocales, sino el potencial efecto de los estilos cognitivos, lo que implica no solo ampliar el número de electrodos, sino la inclusión de la región frontotemporal, lóbulo temporal anterior (ATL), la circunvolución temporal media (MTG), la corteza en el surco temporal superior (STS) y el área de Wernicke, dado que los IMFs obtenidos podrían facilitar una visualización gradual en cuanto al incremento del IMF que podría evidenciar el procesamiento de lenguaje desde el inicio de la tarea, relacionado con la memoria e inicio del imaginario del habla de vocales hasta la producción del habla durante la articulación encubierta, lo cual no podría observarse si se utilizara tan solo un IMF para una comparación entre vocales abiertas y cerradas.

Lo que tenemos en este trabajo en términos cualitativos es una representación estática de la actividad cerebral en términos espaciales que de alguna manera se aproxima al modelo de Hickok y Poeppel. Aún así, para validarlo es importante acompañar con exámenes de neuroimagen estructural y funcional en los mismos sujetos, tanto como una comparación interhemisférica con el hemisferio derecho, así como incluir el análisis del efecto sobre el sexo el cuál no esta contemplado en la presente investigación y/o aumentar el tamaño de la muestra teniendo especial interés por los electrodos E9, E12, E10, E4, E6 en la vía dorsal como el electrodo E2 en la vía ventral del procesamiento del lenguaje, así como aumentar en la base de datos la región segmentada a más de 1 seg de muestreo para cada registro de la señal EEG segmentada por cada repetición de la tarea cognitiva solicitada.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Diferencias Significativas entre Vocales

En relación al segundo grupo categorizado por estimar diferencias significativas solamente entre vocales, se reportan los IMFs 1, 4, 5, 6, 7 para el imaginario de vocales /a/-/u/, el IMF 7 para el imaginario de vocales /a/-/o/ y los IMFs 4, 5 y 7 Total, donde se confirman las diferencias entre las vocales /a/-/u/ sin variaciones adicionales en un conjunto de combinaciones que incluye el imaginario de vocales /a/-/e/-/i/-/o/-/u/ (Véase Apéndice 7).

Se puede evidenciar un efecto proporcional en relación al incremento de la diferenciación para el caso del imaginario de vocales /a/-/u/ al observar una disminución del promedio ponderado del PSD y el incremento de los casos excluidos, la media del IMFs 1 /a/ (MTotal= 0.34, DS=0.24) y /u/ (MTotal= 0.28, DS=0.14) con una exclusión de 19 sujetos, lo cual incrementa gradualmente llegando al IMF 7 con /a/ (MTotal= 0.13, DS=0.27) y /u/ (MTotal= 0.12, DS=0.13) con una exclusión de 23 sujetos.

El IMF 8 confirma la progresión al reportar para /a/ (MTotal= 0.16, DS=0.23) y /u/ (MTotal= 0.08, DS=0.09) y una exclusión de 24 sujetos. Sin embargo, los IMF 9 y 10 no reportan diferencias significativas que den continuidad con dicha progresión. Esto quiere decir que los IMFs son susceptibles al tamaño de la muestra en cuanto a la precisión con la que diferencia las señales EEG Espontáneas no-motoras del imaginario de vocales /a/-/u/. Esta tendencia no se manifiesta en los IMF 1 y 7 en relación a las diferencias significativas manifestadas para el imaginario de vocales /a/-/o/.

Por otro lado los IMF 4, 5 y 7 relacionados con la combinación total entre el imaginario de todas las vocales /a/-/e/-/i/-/o/-/u/ combinadas reporta una replica en los resultados en lo que respecta al IMF 1 y 7 par el imaginario de vocales /o/ (MTotal= 0.39, DS=0.42) y /u/ (MTotal= 0.28, DS=0.16), a diferencia del IMF 5 el cuál no reporta diferencias significativas para vocales. En suma, ninguno de los

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

casos cumple con la prueba de esfericidad de Mauchly, razón por la cual fue necesario corregir con Greenhouse-Geisser.

Los electrodos presentan una actividad diferencial para cada IMF con tendencia a reducción del área de activación del hemisferio izquierdo (HI) y una tendencia a desplazarse hacia el área de Broca progresivamente del IMF 1 al 7. Esta diferencia puede deducirse al identificar una actividad en relación al imaginario de vocales /a/-/u/ en el IMF 1 donde se observa una activación diferencial de los electrodos E2, E9, E12 y E11; el IMF 4 con activación diferencial de los electrodos E2, E5, E8, E9 y E12; el IMF 5 con diferencias significativas en los electrodos E2, E5, E9 y E12; el IMF 6 con actividad diferencial en los electrodos E8 y E9, mientras que en el IMF 7 solo se evidenció actividad diferencial en el electrodo E9. Esto varía al pasar al IMF 8 donde se despliega actividad en los electrodos E10, E4 y E6 relacionados con el área de Broca.

Se infiere por tanto que, cuanto mayor es la resolución de la actividad relacionada con el imaginario del habla, más evidente se vuelve el flujo dorsal del procesamiento relacionado con el imaginario de vocales /a/-/u/ según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2012). Estos resultados concuerdan con los obtenidos empleando técnicas de *Machine learning* empleadas por Nguyen, Karavas, y Artemiadis (2017), Morooka, Ishizuka y Kobayashi (2018), Ghosh et al. (2019) y Agarwal et al. (2020) (Véase Apéndice 2 Tabla 1), así como los obtenidos con aprendizaje profundo reportados por Sarmiento et al. (2021), Malekzadeh et al. (2020), Villamizar (2019), Chengaiyan et al. (2019) y Tamm, Muhammad, y Muhammad (2020) (Véase Apéndice 2 Tabla 3) indicando un potencial aumento de precisión en el reconocimiento de patrones en el imaginario de vocales empleando redes convolucionales CNN, RNN y DVN entre los algoritmos más relevantes (Véase Apéndice 2 Tabla 3).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

En esta línea, los resultados empleando técnicas invasivas como ECoG (Véase Apéndice 2 Tabla 2) han sido confirmados en términos espaciales para el imaginario de vocales /a-/o/ y /a-/u/ en los estudios de Brumberg et al., (2011), Ikeda et al., (2014) y Pei et al. (2011). El sistema no reconoce comparaciones entre el imaginario de vocales abiertas y cerradas de tipo /e-/o/, /e-/u/; /i-/o/, /i-/u/, lo que sugiere una revisión de las diferencias entre medias del PSD dado que la probabilidad de similitud entre ellas es muy alta, lo que debería incluir un método de optimización empleando precisamente métodos de clasificación convencionales o basados en DL en caso de ser utilizada para procesos de clasificación automática. También este estudio indica que los IMFs reportados en ninguno de los casos reporta diferencias significativas con reacción al estilo cognitivo representado en el NEFT.

Interacciones Dobles Significativas

El tercer grupo se identifica por ser IMFs con correlaciones entre interacciones dobles entre vocales y electrodos o entre electrodos y la prueba NEFT, pero que no muestran diferencias significativas entre vocales y estilos cognitivos, es decir, diferencias intrasujetos e intersujetos reportadas para los IMFs 1 en el imaginario de vocales /a-/o/, 3 en el imaginario de vocales /e-/o/ y 4 en el imaginario de vocales /i-/o/. Todos ellos seleccionados a partir de evidencias relacionadas con la prueba multivariante que de cualquier manera no se soportan en los contrastes entre parejas, como es el caso del IMF 1 donde se determina que los PSD registrados en la interacción con los 14 electrodos y las vocales del imaginario del habla /a/, /o/, las cuales manifiestan diferencias en la distribución espacial pero no se diferencian entre sí como vocales, a pesar de evidenciar resultados intrasujetos entre vocales y electrodos significativos $p = 0.028$, $\eta^2 = 0.074$ resaltando dicha actividad sobre los electrodos E9, E12, E11 y E14 justo en la interfaz sensoriomotora sobre la vía dorsal del procesamiento de lenguaje.

Lo que respecta al IMF 3 en relación a la diferenciación entre las vocales /e-/o/ se observan diferencias significativas en la interacción vocales*electrodos [Traza de Pillai = 0.553, $F(13,27) = 2.572$,

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

$p=0.019$, $\eta^2 =0.553$] razón por la cuál fue seleccionado para el análisis, sin embargo, no existe interacciones dobles significativa entre las variables intra-sujetos e inter-sujetos, lo que sugiere que los PSD registrados en los 14 electrodos dependen del imaginario del habla de las vocales. Esto indica que las pruebas multivariantes no siempre son un indicador de diferencias significativas, por lo que se sugiere incluir como criterio los efectos intrasujetos y las pruebas de contraste intrasujetos para corroborar dicha inclusión.

Finalmente, en lo que respecta al IMF 4 en el imaginario de vocales /i/-/o/ se reporta diferencias significativas en la interacción entre electrodos*NEFT / [Traza de Pillai = 0.968, $F(26,50) = 1.8$, $p=0.037$, $\eta^2 =0,484$], sin embargo, tal como en el caso del IMF 3 para las vocales /e/-/o/, las pruebas de contraste intrasujetos no la respaldan. Sin embargo, el IMF 4 en la prueba de efectos intersujetos evidencia diferencias significativas en la interacción de los PSD generados en los diferentes electrodos debido al estilo cognitivo de los sujetos $p <0.001$, $\eta^2 =0,441$. En cualquiera de los casos se viola el supuesto de esfericidad indicado por la prueba de Mauchly y aunque se realiza la corrección con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = .21$) el error en la variación es demasiado alto para normalizarlo.

Teniendo en consideración las anteriores observaciones y resultados obtenidos de la presente investigación se procede a responder las hipótesis de investigación propuestas en la presente tesis:

Evaluación de Hipotesis Propuestas

H1: El estilo cognitivo, para la dimensión Dependencia/Independencia de campo (DIC) presenta diferencias significativas entre la señal Voluntaria no-motora del habla imaginada de vocales a/, /e/, /i/, /o/, /u/ abiertas y cerradas obtenidas mediante señales EEG sobre una configuración de 14 electrodos ubicados en el hemisferio izquierdo HI.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La hipótesis 1 si se cumple en el caso del IMF 8 para el imaginario de vocales abiertas y cerradas /a/-/o/ y /a/-/u/ en una muestra de 45 y 46 sujetos respectivamente diferenciando Intermedios de Campo IntC de Independientes de campo IC.

H2: La señal Voluntaria no-motora del habla imaginada de vocales a/, /e/, /i/, /o/, /u/ abiertas y cerradas presenta diferencias significativas entre los 14 electrodos ubicados sobre el hemisferio izquierdo.

La hipótesis 2 si se cumple en el caso de los IMFs 1, 4, 5, 6, 7 para el imaginario de vocales /a/-/u/, el IMF 7 para el imaginario de vocales /a/-/o/ y los IMFs 4, 5 entre las vocales /a/-/u/ y el IMF 7 Total que son todas las vocales /a/-/e/-/i/-/o/-/u/ combinadas.

H3: La variabilidad de la señal EEG voluntaria no-motora del imaginario del habla de vocales a/, /e/, /i/, /o/, /u/ abiertas y cerradas se debe a procesamientos cognitivos en el HI de forma diferencial de acuerdo al estilo cognitivo en la dimensión DIC.

La hipótesis 3 se cumple parcialmente para las combinaciones del imaginario de vocales /a/-/o/ y /a/-/u/ en el IMF 8, aún así no se podría determinar que la causa de la variabilidad en la señal EEG diferencial sea a razón de los estilos cognitivos, especialmente porque no se diferencian claramente los extremos Dependiente de Campo DC e Independiente de Campo IC de forma significativa en las combinaciones analizadas para determinar una generalidad.

H4: La variabilidad de la señal EEG voluntaria no-motora del imaginario del habla de vocales a/, /e/, /i/, /o/, /u/ abiertas y cerradas no presenta diferencias significativas en el hemisferios izquierdo (HI) de acuerdo al estilo cognitivo en la dimensión DIC.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La hipótesis 4 no se cumple dado que si se obtuvieron evidencias que correlacionan significativamente las vocales con el estilo cognitivo Intermedio de Campo IntC e Independiente de Campo IC.

CONCLUSIONES

De acuerdo a las preguntas de investigación planteadas y los objetivos generales y específicos propuestos se procede a dar las conclusiones más relevantes de la presente tesis así:

¿Existen diferencias significativas en la emisión de señales EEG voluntarias no-motoras del habla imaginada de vocales abiertas y cerradas obtenidas del hemisferio izquierdo, entre tres grupos de estudiantes con diferente estilo cognitivo en la dimensión DIC?

Las evidencias relacionadas con el IMF 8 para el imaginario de vocales /a-/u/ y /a-/o/, respaldan el hecho no solo que presentan diferencias significativas entre las mismas vocales, sino que en este nivel se manifiestan diferencias significativas entre los estilos cognitivos Intermedio (IntC) e Independiente de Campo (IC) determinadas mediante prueba post-hoc (/a-/u/ Sig.= 0.028 y /a-/o/ Sig.= 0.033). Aún así, no se evidencian comportamientos diferenciables entre el restante de comparaciones del imaginario de vocales abiertas y cerradas /e/,/i-/o/,/u/, ni en el caso de la combinación del total del imaginario de vocales combinadas, ni el estilo cognitivo Dependiente de Campo (DC) con relación a los sujetos IntC y/o los sujetos IC.

Adicional, los resultados en promedio filtraron un 32.5% de los sujetos por casos atípicos o redundancia en la categorización según el valor del NEFT que pudo haber modificado drásticamente los resultados obtenidos. Adicional, el análisis espacial del IMF 8 indica una actividad en los electrodos E9 para el caso del imaginario de vocales /a-/o/ diferencial que se expande de forma inédita en el IMF 8

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

para el imaginario de vocales /a-/u/ hacia los electrodos E10, E4 y E6. Según el modelo de Hickok y Poppel (2007) la actividad del electrodo E9, relacionado con las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v, se encuentra sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensoriomotora, sugiriendo una secuencialidad con el electrodo E4, evidenciando actividad en el córtex premotor y motor sobre el área BR4 y BR6, seguido del electrodo E10, relacionado con el área de broadman BR 6 donde se ubica el córtex premotor, manifestando actividad sobre las áreas BR 8 y 44 correspondientes al córtex motor secundario y área de Broca indicando una relación directa con el imaginario de vocales.

Por tanto, el efecto sobre los electrodos E4 y E10 indica una preparación del gesto motor correspondiente al imaginario de la vocalización de la /a/, /o/ y /u/. De esta forma, la actividad de los electrodos E4, E6 y E10 ocurre sobre lo que en el modelo de Hickok y Poeppel (2012) le denominan giro frontal posterioinferior o pIFG (del inglés *posterior inferior frontal gyrus*) y el córtex premotor PM justo en el área del córtex pre-motor suplementario (pre-SMA), donde se realiza la planeación motora orofacial generada en el pars-opercularis ventral izquierdo (pOp-d E4) y el pars-opercularis dorsal izquierdo (pOp-d E10), finalizando en el pars-opercularis izquierdo (pOp E6) o área de Broca (Véase Figura 6).

De esta manera, las hipótesis H1, se cumple especialmente para el caso del IMF 8 y el imaginario de las vocales /a-/u/ y /a-/o/ y los estilos cognitivos Intermedio (IntC) e Independiente de Campo (IC) en una configuración de 4 electrodos sobre el hemisferio izquierdo relacionados como E9, E10, E4 y E6 sobre la vía dorsal de procesamiento del lenguaje según el modelo de Hickok y Poppel (2012) entre el área de asociación somatosensorial sobre la circunvolución supramarginal SMG hacia el córtex motor

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

secundario y área de Broca donde se desarrolla la articulación encubierta que activa el programa motor del gesto de vocalización.

¿Existe actividad diferencial durante la emisión de señales EEG del imaginario de vocales abiertas y cerradas registradas entre 14 electrodos ubicados en el hemisferio izquierdo?

Las evidencias indicadas para los IMFs 1, 4, 5, 6, 7 y 8 respecto al imaginario de vocales /a/-/u/, el IMF 7 y 8 para el imaginario de vocales /a/-/o/ y los IMF 4 y 7 Total, para el imaginario de vocales /a/,/o/,/u/, respaldan la diferenciación entre electrodos y vocales en el hemisferio izquierdo. Los electrodos que manifestaron diferencias significativas entre vocales fueron de mayor a menor actividad, E2, E9, E12, E11, E14, E5 y E8 relacionados con la vía ventral y dorsal del procesamiento del lenguaje según lo describe el modelo de Hickok y Poeppel (2004, 2012) sugiriendo actividad del electrodo 2 sobre el área de broadman BR22 o área de Wernicke sobre el giro temporal superior STG también denominado córtex auditivo asociativo.

Igualmente se evidenció actividad diferencial de los electrodos E12 y E9 ubicados sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v. Por otro lado, el electrodo E11 evidenció actividad diferencial entre las áreas de Broadman BR 3,4 denominados córtex somatosensorial primario y córtex motor respectivamente.

Según el modelo de Hickok y Poeppel (2004, 2012) el electrodo 2 se encuentra sobre la vía ventral del procesamiento del habla relacionado con los procesos de comprensión del lenguaje,

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

mientras que los electrodos E12, E9 y E11 se encuentran sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensoriomotora y la vía del córtex premotor dorsal (PMd) al límite del surco central en la fisura de Rolando (Véase Figura 20). Estos resultados apoyan la hipótesis H2 aunque no se da en todas las comparaciones entre vocales abiertas y cerradas, aunque se da parcialmente al combinar todas las vocales. Adicional es importante aclarar que hay una relación inversamente proporcional entre la precisión de la diferenciación entre vocales y la exclusión de sujetos, determinando un coste en un futuro proceso de clasificación automática.

Recomendaciones y Proyectos Futuros

A pesar de los importantes resultados obtenidos en la presente tesis al identificar correlaciones entre los estilos cognitivos IC e IntC con las vocales /a-/u/ y /a-/o/ sobre los electrodos E9, E10, E4 y E6 empleando los PSD ponderados producto de la aplicación del algoritmo APIT-MEMD, no es lo suficientemente robusta para diferenciar variaciones aparentemente uniformes entre las vocales /e/,/i/ y /o/,/u/, ni diferenciables en un conjunto donde estén los PSD producto de las variaciones entre todas las vocales, con el valor discriminativo suficiente para reconocer el estilo cognitivo Dependiente de campo DC de los IC y los IntC sin una pérdida de sujetos por exclusión de casos atípicos o redundancia en la categorización del EFT.

Por esta razón, se sugiere en trabajos futuros, determinar el efecto de la distribución de los terciles en la dimensión DIC para justificar la presencia de un grupo denominado Intermedio de campo (IntC). Analizar el efecto en la disminución de la ventana de muestreo antes de segmentar la señal EEG en cada tarea cognitiva solicitada. Ampliar el tamaño de la muestra para suavizar el efecto de los casos atípicos, aumentar los electrodos en el hemisferio izquierdo para poder interpretar de forma generalizada los efectos de la variación del PSD en el modelo de procesamiento del lenguaje propuesto por Hickok y Poeppel (2012) y realizar una validación de lateralización y hemisfericidad empleando

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

registrando la actividad EEG del hemisferio derecho, tanto como el análisis de correlación con exámenes de neuroimagen y neuropsicológicos para establecer de forma robusta los efectos sobre las señal EEG producidos por la imaginaria de vocales.

Dado que la presente investigación se realizó en un ambiente experimental diseñado para el control de la atención, es importante continuar empleando un ambiente con las distracciones naturales mínimas con especial atención en los electrodos E2, E9, E10, E4 y E6 sobre el hemisferio izquierdo (HI), así como establecer condiciones experimentales de adquisición de señales EEG para aplicaciones *online* o en tiempo real empleando los comandos /a/,/o/,/u/ inicialmente para el control de una BCI, o con un complemento basado en aprendizaje profundo *Deep Learning* que automatice la diferenciación entre vocales, aumentando las posibilidades de control de dispositivos o aplicaciones en el campo educativo especialmente a razón de la evaluación del logro de aprendizaje contribuyendo a los trabajos realizados por Bermudez y Gutierrez (2019), Moore y Dwyer (1994), Tinajero y Páramo (1998), Leader y Klein (1996), López, Ibáñez, y Chiguasuque (2014), Duque (2020), Bermudez y Gutierrez (2019) y López, Hederich, y Camargo (2012) entre otros.

Los hallazgos encontrados en el presente trabajo de tesis confirma desde el punto de vista anatómico-funcional la localización de vías de procesamiento del lenguaje no verbal, así como evidencia desde la base neurofisiológica la posibilidad de asociar la dimensión DIC a un método psicométrico con un alto grado de precisión basado en señales EEG del imaginario del habla de vocales en base características espectrales correspondientes al dominio de tiempo-frecuencia, con potencial para desarrollar un sistemas de clasificación de estilos cognitivos y sus correspondientes aplicaciones en el campo de la educación.

El diagnóstico automático de estilos cognitivos facilitaría el diseño de modelos de enseñanza diferencial pertinentes de acuerdo a los estilos cognitivos que tenga cada estudiante y su contexto, o la

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

posibilidad de modificar el estilo cognitivo hacia aquel que consigue con mayor éxito el logro de aprendizaje como es el caso de los Independientes de Campo IC, apoyado en teorías cognitivistas basadas en el procesamiento de la información como lo señala Feuerstein y Jensen (1980) aplicando el concepto de aprendizaje mediado a la intervención para el control del estilo cognitivo, la autorregulación y la metacognición.

En cualquiera de los casos, determinar los estilos cognitivos de forma precisa permitiría aproximarnos a la comprensión de la manera en que se da el proceso de aprendizaje, y/o tratar de entrenar dichos procesos adaptativamente para mejorarlos, de tal manera que podríamos acompañar de forma pertinente los procesos educativos y, por tanto, el desarrollo de habilidades cognitivas de alto nivel

Referencias

- Agarwal, P., Kale, R. K., Kumar, M., & Kumar, S. (2020). Silent speech classification based upon various feature extraction methods. *2020 7th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks, SPIN 2020*, 16–20. <https://doi.org/10.1109/SPIN48934.2020.9070969>.
- Alonso, L. F., Gil J. (2012) Brain computer interfaces, a review. *Sensors (Basel)*;12(2):1211-79. doi: 10.3390/s120201211.
- Angeli, C., & Valanides, N. (2013). Using educational data mining methods to assess field-dependent and field-independent learners' complex problem solving. *Educational Technology Research and Development*, 61(3), 521-548.
- Asadi, F. (2019). Robot control system using SMR signals detection. *International Journal of Smart Electrical Engineering*, 8(01), 23-30.
- Asch, S. E., & Witkin, H. A. (1948). Studies in space orientation. II. Perception of the upright with displaced visual fields and with body tilted. *Journal of Experimental Psychology*, 38(4), 455.
- Bakan, P. (1971). The eyes have it. *Psychol. Today*. April, 64-67.
- Barnat, M. R. (1974). Some personality correlates of the conjugate lateral eye-movement phenomenon. *Journal of personality assessment*, 38(3), 223-225.
- Berent, S., & Silverman, A. J. (1973) Field dependence and differences between visual and verbal learning tasks. *Perceptual and Motor Skills*, 36, 1327-1330.
- Bermudez M.A. & Gutierrez D.E. (2019). Influencia de un andamiaje de autoeficacia sobre el logro de aprendizaje y la eficacia personal en estudiantes con diferente estilo cognitivo a través de un videojuego. Tesis de maestría MTIAE-UPN.
- Bloom-Feshbach, J. (1980) Differentiation: field dependence, spatial ability and hemispheric specialization. *Journal of Personality*, 48, 135-148.
- Bouchard, K. E., & Chang, E. F. (2014). Control of spoken vowel acoustics and the influence of phonetic context in human speech sensorimotor cortex. *Journal of Neuroscience*, 34, 12662–12672.

- Bradshaw, J. L., & Nettleton, N. C. (1981). The nature of hemispheric specialization in man. *Behavioral and Brain Sciences*, 4(1), 51-63.
- Brigham, K., & Kumar, B. V. (2010). Imagined speech classification with EEG signals for silent communication: a preliminary investigation into synthetic telepathy. *In 2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering* (pp. 1-4). IEEE.
- Brodzinsky, D. M. (1982). Relationship between cognitive style and cognitive development: A 2-year longitudinal study. *Developmental Psychology*, 18(4), 617.
- Brumberg, J. S., Wright, E. J., Andreasen, D. S., Guenther, F. H., & Kennedy, P. R. (2011). Classification of intended phoneme production from chronic intracortical microelectrode recordings in speech motor cortex. *Frontiers in neuroscience*, 5, 65.
- Brumberg, J. S., Krusienski, D. J., Chakrabarti, S., Gunduz, A., Brunner, P., Ritaccio, A. L., & Schalk, G. (2016). Spatio-temporal progression of cortical activity related to continuous overt and covert speech production in a reading task. *PLoS ONE*, 11(11), 1–21.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166872>.
- Callan, D. E., Callan, A. M., Honda, K., & Masaki, S. (2000). Single-sweep EEG analysis of neural processes underlying perception and production of vowels. *Cognitive brain research*, 10(1-2), 173-176.
- Chengaiyan, S., Retnapandian, A. S., & Anandan, K. (2020). Identification of vowels in consonant–vowel–consonant words from speech imagery based EEG signals. *Cognitive Neurodynamics*, 14(1).
<https://doi.org/10.1007/s11571-019-09558-5>.
- Chi, X., Hagedorn, J. B., Schoonover, D., & Zmura, M. D. (2011). EEG-Based Discrimination of Imagined Speech Phonemes. *International Journal of Bioelectromagnetism*, 13(4), 201–206.
- Chowdhury, G. (2003) Natural language processing. *Annual Review of Information Science and Technology*, 37. pp. 51-89. ISSN 0066-4200
- Woods, W. A. (1969). Augmented Transition Networks for Natural Language Analysis. Schank, R. C. (1972). Conceptual dependency: *A theory of natural language understanding*. *Cognitive psychology*, 3(4), 552-631.
- Chu, Y. H., Lin, F. H., Chou, Y. J., Tsai, K. W. K., Kuo, W. J., & Jääskeläinen, I. P. (2013). Effective cerebral connectivity during silent speech reading revealed by functional magnetic resonance imaging. *PLoS*

ONE, 8(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080265>.

Coretto, G. A. P., Gareis, I. E., & Rufiner, H. L. (2017, January). Open access database of EEG signals recorded during imagined speech. In *12th International Symposium on Medical Information Processing and Analysis* (Vol. 10160, p. 1016002). International Society for Optics and Photonics.

Coretto, G. A. P., Gareis, I. E., & Rufiner, H. L. (2017, January). Open access database of EEG signals recorded during imagined speech. In *12th International Symposium on Medical Information Processing and Analysis* (Vol. 10160, p. 1016002). International Society for Optics and Photonics.

Creutzfeldt, O., Ojemann, G., & Lettich, E. (1989 a). Neuronal activity in the human lateral temporal lobe: I. Responses to speech. *Experimental Brain Research*, 77, 451–475.

Culver, C. M., Cohen, S. I., Silverman, A. J., & Shmavonian, B. M. (1964) Cognitive structuring, field dependence-independence, and the psychophysiological response to perceptual isolation. In J. Wortis (Ed.), *Recent advances in biological psychiatry VI*. New York: Plenum. Pp. 119-128.

D'Zmura, M., Deng, S., Lappas, T., Thorpe, S., & Srinivasan, R. (2009). Toward eeg sensing of imagined speech. *Lecture Notes in Computer Science* (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 5610 LNCS(PART 1), 40–48.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-02574-7_5.

DaSalla, C. S., Kambara, H., Sato, M., & Koike, Y. (2009). Single-trial classification of vowel speech imagery using common spatial patterns. *Neural Networks*, 22(9), 1334–1339.
<https://doi.org/10.1016/j.neunet.2009.05.008>.

De Witt, G. W., & Averill, J. R. (1976). Lateral eye movements, hypnotic susceptibility and field independence-dependence. *Perceptual and Motor Skills*, 43(3_suppl), 1179-1184.

Drubach, D., Benarroch, E. E., & Mateen, F. J. (2007). Imaginación: definición, utilidad y neurobiología. *Revista de neurología*, 45(6), 353-358.

Duque W.A. (2020). Ambiente virtual con software motivacional y su efecto en el logro de aprendizaje, el monitoreo del proceso de aprendizaje, la gestión del tiempo y el estilo cognitivo en la dimensión DIC. Tesis de maestría MTIAE-UPN.

- Earle, J. B., Garcia-Dergay, P., Manniello, A., & Dowd, C. (1996). Mathematical cognitive style and arithmetic sign comprehension: a study of EEG alpha and theta activity. *International journal of psychophysiology*, 21(1), 1-13.
- Evans, C., Richardson, J. T. E., & Waring, M. (2013). Field independence: Reviewing the evidence. *British Journal of Educational Psychology*, 83(2), 210–224. <https://doi.org/10.1111/bjep.12015>.
- Falcone, D. J. (1985) Laterality and field dependence. *Perceptual and Motor Skills*, 61, 651-657.
- Farmaki, C., Sakkalis, V., Loesche, F., & Nisiforou, E. A. (2019). Assessing Field Dependence–Independence Cognitive Abilities Through EEG-Based Bistable Perception Processing. *Frontiers in human neuroscience*, 13, 345.
- Federico, P. A. (1984). Event-related-potential (ERP) correlates of cognitive styles, abilities and aptitudes. *Personality and Individual Differences*, 5(5), 575-585.
- Fedosov, N., Levadny, I., Dmitriev, A., & Nikolaev, A. (2020, May). Independent Component Analysis for Different Movements Detection in BCI Application Based on Sensorimotor Rhythms. In *2020 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT)* (pp. 69-72). IEEE.
- Feuerstein, R., & Jensen, M. R. (1980, May). Instrumental enrichment: Theoretical basis, goals, and instruments. In *The Educational Forum* (Vol. 44, No. 4, pp. 401-423). Taylor & Francis Group.
- Fujimaki, N., Takeuchi, F., Kobayashi, T., Kuriki, S., & Hasuo, S. (1994a). Event-related potentials in silent speech. *Brain Topography*, 6(4), 259–267. <https://doi.org/10.1007/BF01211171>.
- Garcia, J. (1989). Los estilos cognitivos y su medida: estudios sobre la dimensión dependencia-independencia de campo (Vol. 31). *Ministerio de Educación*.
- Gelbukh, A. (2010). Procesamiento de lenguaje natural y sus aplicaciones. *Komputer Sapiens*, 1, 6-11.
- Gevins, A., & Smith, M. E. (2000). Neurophysiological measures of working memory and individual differences in cognitive ability and cognitive style. *Cerebral cortex*, 10(9), 829-839.
- Ghane, P., Hossain, G., & Tovar, A. (2016). Robust understanding of EEG patterns in silent speech. *Proceedings of the IEEE National Aerospace Electronics Conference, NAECON, 2016 – March*, 282–

289. <https://doi.org/10.1109/NAECON.2015.7443084>.

Ghosh, R., Sinha, N., Biswas, S. K., & Phadikar, S. (2019). A modified grey wolf optimization based feature selection method from EEG for silent speech classification. *Journal of Information and Optimization Sciences*, 40(8), 1639–1652. <https://doi.org/10.1080/02522667.2019.1703262>.

Giraud, A. L., & Poeppel, D. (2012). Cortical oscillations and speech processing: emerging computational principles and operations. *Nature neuroscience*, 15(4), 511.

Glass, A., & Riding, R. J. (1999). EEG differences and cognitive style. *Biological Psychology*, 51(1), 23-41.

Goldman-Rakic, P. S., & Schwartz, M. L. (1982). Interdigitation of contralateral and ipsilateral columnar projections to frontal association cortex in primates. *Science*, 216(4547), 755-757.

Goode, P. E., Goddard, P. H., & Pascual-Leone, J. (2002). Event-related potentials index cognitive style differences during a serial-order recall task. *International Journal of Psychophysiology*, 43(2), 123-140.

Grossman, S. P. (1967). A textbook of physiological psychology.

Guyton & Hall. (2021). Unidad XI. Capítulo 58: Corteza cerebral, funciones intelectuales del cerebro, aprendizaje y memoria.. Tratado de fisiología médica 14ª ed (2021).

Hemakom, A., Goverdovsky, V., Looney, D., & Mandic, D. P. (2016). Adaptive-projection intrinsically transformed multivariate empirical mode decomposition in cooperative brain–computer interface applications. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065), 20150199.

Hannay, H. J. (1976) Real or imagined lateralization of function in females? *Perception & Psychophysics*, 19, 349-352.

Hansen, S. T., Hemakom, A., Gylling Safeldt, M., Krohne, L. K., Madsen, K. H., Siebner, H. R., ... & Hansen, L. K. (2019). Unmixing oscillatory brain activity by eeg source localization and empirical mode decomposition. *Computational intelligence and neuroscience*.

- Hao, X., Wang, K., Li, W., Yang, W., Wei, D., Qiu, J., & Zhang, Q. (2013). Individual differences in brain structure and resting brain function underlie cognitive styles: evidence from the embedded figures test. *PloS one*, 8(12), e78089.
- Hederich-Martínez, C. (2007). *Estilo cognitivo en la dimensión de dependencia-independencia de campo. Influencias culturales e implicaciones para la educación*. Bogotá DC: Universidad Pedagógica Nacional.
- Hederich-Martínez, C., López-Vargas, O., & Camargo-Uribe, A. (2016). Effects of the use of a flexible metacognitive scaffolding on self-regulated learning during virtual education. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 8(3-4), 199-216.
- Hellige, J. B., & Kee, D. W. (1990). Asymmetric manual interference as an indicator of lateralized brain function. *In Advances in psychology* (Vol. 70, pp. 635-660). North-Holland.
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2000). Towards a functional neuroanatomy of speech perception. *Trends in cognitive sciences*, 4(4), 131-138.
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2004). Dorsal and ventral streams: a framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition*, 92(1-2), 67-99.
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2012). The cortical organization of speech processing. *Nature reviews neuroscience*, 8(5), 393-402.
- Hoffman, C., & Kagan, S. (1977). Lateral Eye Movements and Field-Dependence—Independence. *Perceptual and Motor Skills*, 45(3), 767-778.
- Holmes, W., Hui, Z., Miao, F., & Ronghuai, H. (2021). *Inteligencia artificial y educación: Guía para las personas a cargo de formular políticas*. UNESCO Publishing.
- Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. C., Shih, H. H., Zheng, Q., ... & Liu, H. H. (1998). The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: mathematical, physical and engineering sciences*, 454(1971), 903-995.
- Hudspeth, A. J., Jessell, T. M., Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Siegelbaum, S. A. (Eds.). (2013). *Principles*

of neural science. McGraw-Hill, Health Professions Division.

- Huteau, M. (1987). *Style cognitif et personnalité: la dépendance-indépendance à l'égard du champ* (Vol. 4). Presses Univ. Septentrion.
- Ikeda, S., Shibata, T., Nakano, N., Okada, R., Tsuyuguchi, N., Ikeda, K., & Kato, A. (2014). Neural decoding of single vowels during covert articulation using electrocortigraphy. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(MAR), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00125>.
- Iqbal, S., Khan, Y. U., & Farooq, O. (2015). EEG based classification of imagined vowel sounds. In *2015 2nd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)* (pp. 1591-1594). IEEE.
- Imanaka, M., Kakigi, R., & Nakata, H. (2017). The relationship between cognitive style and event-related potentials during auditory and somatosensory Go/No-go paradigms. *NeuroReport*, 28(13), 822–827.
- Jia, S., Zhang, Q., & Li, S. (2014). Field dependence-independence modulates the efficiency of filtering out irrelevant information in a visual working memory task. *Neuroscience*, 278, 136–143.
- Jin, J., Miao, Y., Daly, I., Zuo, C., Hu, D., & Cichocki, A. (2019). Correlation-based channel selection and regularized feature optimization for MI-based BCI. *Neural Networks*, 118, 262-270.
- Kahapi, R. M. (1987). *Cognitive style and anxiety as related to the P300 component of the event related potential waveform in eleven and twelve year old males* (Doctoral dissertation, The Ohio State University).
- Keirn, Z. A., & Aunon, J. I. (1990). A new mode of communication between man and his surroundings. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 37(12), 1209-1214.
- Kozhevnikov, M. (2007). Cognitive styles in the context of modern psychology: Toward an integrated framework of cognitive style. *Psychological bulletin*, 133(3), 464.
- Krishna, G., Tran, C., Carnahan, M., & Tewfik, A. (2020). Continuous Silent Speech Recognition using EEG, 18–21. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/2002.03851>.
- Leader, L. F., & Klein, J. D. (1996). The effects of search tool type and cognitive style on performance

- during hypermedia database searches. *Educational technology research and development*, 44(2), 5-15.
- Lehtonen, J., Jylanki, P., Kauhanen, L., & Sams, M. (2008). Online classification of single EEG trials during finger movements. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 55(2), 713-720.
- Liddy, E.D. 2001. Natural Language Processing. In *Encyclopedia of Library and Information Science*, 2nd Ed. NY. Marcel Decker, Inc.
- Liu, M., & Reed, W. M. (1994). The relationship between the learning strategies and learning styles in a hypermedia environment. *Computers in human behavior*, 10(4), 419-434.
- López Vargas, O., Ibáñez Ibáñez, J., & Chiguasuque Bello, E. (2014). Cognitive Style and Learning Goals Setting in Computational Environments. *Pensamiento Psicológico*, 12(1), 133-148.
- Lotte, F., Bougrain, L., Clerc, M., Lotte, F., Bougrain, L., Clerc, M., & Clerc, M. (2015). Interfaces To cite this version: Electroencephalography (EEG)-based Brain-Computer Interfaces.
- Longoni, A. M., Zoccolotti, P., & Speranza, T. (1980) Coding strategies and laterality effects, a replication of a Seamon and Gazzaniga study (1973). *Archivo di Psicologia, Neurologia e Psichiatria*, 41, 479-481.
- Luo, H., & Poeppel, D. (2007). Phase patterns of neuronal responses reliably discriminate speech in human auditory cortex. *Neuron*, 54(6), 1001-1010.
- Malekzadeh, S., Gholizadeh, M. H., Razavi, S. N., & Zadeh, H. G. (2020). The recognition of persian phonemes using PpNet. *Journal of Medical Signals and Sensors*, 10(2), 87-94.
- Manca, A. D., De Nunzio, G., & Grimaldi, M. (2016). EEG-based recognition of silent and imagined vowels.
- Manning L., & Ballesteros R. F. (1985). Dependencia-Independencia de campo y diferenciación hemisférica en tareas de escucha dicótica. *Studies in Psychology = Estudios de Psicología*, ISSN 0210-9395, ISSN-e 1579-3699, Nº 23-24, 1985, págs. 21-28.
- Márquez Díaz, J. (2020). Inteligencia artificial y Big Data como soluciones frente a la COVID-19. *Revista de Bioética y Derecho*, (50), 315-331.

- Martínez-Bernal, J., Sanabria Rodríguez, L. B., & López-Vargas, O. (2016). Relationships between learning achievement, self-monitoring, cognitive style, and learning style in medical students. *Praxis & Saber*, 7(14), 141-164.
- Mason, S. G., and Birch, G. E. (2003). A general framework for braincomputer interface design. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 11, 70–85. doi: 10.1109/TNSRE.2003.810426.
- Matsumoto, M., & Hori, J. (2014). Classification of silent speech using support vector machine and relevance vector machine. *Applied Soft Computing Journal*, 20, 95–102.
<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2013.10.023>.
- McKay, M. T., Fischler, I., & Dunn, B. R. (2003). Cognitive style and recall of text: An EEG analysis. *Learning and individual differences*, 14(1), 1-21.
- Mertler, C. A., & Reinhart, R. V. (2016). *Advanced and multivariate statistical methods: Practical application and interpretation*. Taylor & Francis.
- Min, B., Kim, J., Park, H. J., & Lee, B. (2016). Vowel Imagery Decoding toward Silent Speech BCI Using Extreme Learning Machine with Electroencephalogram. *BioMed Research International*, 2016.
<https://doi.org/10.1155/2016/2618265>.
- Minagawa, N., & Kashu, K. (1989). Influence of cognitive style and interstimulus interval on the hemispheric processing of tactile stimuli. *Perceptual and motor skills*, 68(3_suppl), 1031-1039.
- Moffatt, K., Pourshahid, G., & Baecker, R. M. (2017). Augmentative and alternative communication devices for aphasia: the emerging role of “smart” mobile devices. *Universal Access in the Information Society*, 16(1), 115-128.
- Moore, D. M., & Dwyer, F. M. (1994). Effect of cognitive style on test type (visual or verbal) and color coding. *Perceptual and Motor Skills*, 79(3_suppl), 1532-1534.
- Morooka, T., Ishizuka, K., & Kobayashi, N. (2018). Electroencephalographic Analysis of Auditory Imagination to Realize Silent Speech BCI. *2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics, GCCE 2018*, (October), 683–686.
- Nguyen, C. H., Karavas, G. K., & Artemiadis, P. (2017). Inferring imagined speech using EEG signals: a new

- approach using Riemannian manifold features. *Journal of neural engineering*, 15(1), 016002.
- Novo-Olivas, C., Chacón Guitiérrez, L., & Alberto Barradas Bribiesca, J. (2010). Mapeo Electroencefalográfico y Neurofeedback. September, 371–412.
- Oltman, P K., & Capobianco, F. (1967) Field dependence and eye dominance. *Perceptual and Motor Skills*, 25, 645-646.
- Oltman, P. K., Semple, C., & Goldstein, L. (1979). Cognitive style and interhemispheric differentiation in the EEG. *Neuropsychologia*, 17(6), 699–702.
- Ornstein, R. E. (1973). *The nature of human consciousness: A book of readings*. WH Freeman.
- Palmer, R. M. (1974) Dimensions of differentiation in handedness. *Journal of Clinical Psychology*, 30, 545-552.
- Pawar, D., & Dhage, S. (2020). Multiclass covert speech classification using extreme learning machine. *Biomedical Engineering Letters*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s13534-020-00152-x>.
- Pei, X., Barbour, D. L., Leuthardt, E. C., & Schalk, G. (2011). Decoding vowels and consonants in spoken and imagined words using electrocorticographic signals in humans. *Journal of neural engineering*, 8(4), 046028.
- Pierro, R. A., & Goldberger, L. (1982). Lateral eye-movements, field dependence and denial. *Perceptual and motor skills*, 55(2), 371-378.
- Pizzamiglio, L. (1974) Handedness, ear-preference, and field dependence. *Perceptual and Motor Skills*, 38, 700-702
- Poeppel, D., Idsardi, W. J., & Van Wassenhove, V. (2008). Speech perception at the interface of neurobiology and linguistics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1493), 1071-1086
- Proudfoot, R. E. (1983) Hemispheric asymmetry for face recognition: cognitive style and the "crossover" effect. *Cortex*, 19, 31-41.
- Qureshi, M. N. I., Min, B., Park, H. J., Cho, D., Choi, W., & Lee, B. (2017). Multiclass classification of word

- imagination speech with hybrid connectivity features. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 65(10), 2168-2177.
- Ramadan, R. A., & Vasilakos, A. V. (2017). Brain computer interface: control signals review. *Neurocomputing*, 223, 26-44.
- Rashid, M., Sulaiman, N., Majeed, A. P. A., Musa, R. M., Nasir, A. F. A., Bari, B. S., & Khatun, S. (2020). Current Status, Challenges, and Possible Solutions of EEG-Based Brain-Computer Interface: A Comprehensive Review. *Frontiers in neurorobotics*, 14.
- Reshamwala, A., Mishra, D., & Pawar, P. (2013). Review on natural language processing. *IRACST Engineering Science and Technology: An International Journal (ESTIJ)*, 3(1), 113-116.
- Reuchlin, M. (1987) Differentiation, integration hierarchique, genese. *Bulletin de Psychologie*, 40, 703-722
- Reyes, C. A. (2017). *Procesamiento y Clasificación de Bioseñales con Inteligencia Computacional*. México: Congreso Mexicano de Inteligencia Artificial (COMIA).
URL:http://smia.mx/comia/2017/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=127.
- Riaz, A., Akhtar, S., Iftikhar, S., Khan, A. A., & Salman, A. (2015). Inter comparison of classification techniques for vowel speech imagery using EEG sensors. 2014 2nd International Conference on Systems and Informatics, ICSAI 2014, (Icsai), 712–717.
<https://doi.org/10.1109/ICSAI.2014.7009378>.
- Riding, R. J., Glass, A., Butler, S. R., & Pleydell-Pearce, C. W. (1997). Cognitive style and individual differences in EEG alpha during information processing. *Educational Psychology*, 17(1-2), 219-234.
- Rojas, P. E. L., Seco, G. V., & García, P. F. (2006). Procedimientos estadísticos alternativos para evaluar la robustez mediante diseños de medidas repetidas. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 38(3), 579-598.
- Roland, P. E., & Friberg, L. (1985). Localization of cortical areas activated by thinking. *Journal of Neurophysiology*, 53(5), 1219-1243.

- Ruiz de Villa, M. D. C. (2004). Análisis de medidas repetidas. *Med. clín (Ed. impr.)*, 51-58.
- Sanei, S., & Chambers, J. A. (2013). *EEG signal processing*. John Wiley & Sons.
- Sarmiento, L. C., Lorenzana, P., Cortes, C. J., Arcos, W. J., Bacca, J. A., & Tovar, A. (2014). Brain computer interface (BCI) with EEG signals for automatic vowel recognition based on articulation mode. In 5th ISSNIP-IEEE Biosignals and Biorobotics Conference (2014): Biosignals and Robotics for Better and Safer Living (BRC) (pp. 1-4). IEEE.
- Sarmiento, L. C., Villamizar, S., López, O., Collazos, A. C., Sarmiento, J., & Rodríguez, J. B. (2021). Recognition of EEG Signals from Imagined Vowels Using Deep Learning Methods. *Sensors*, 21(19), 6503.
- Schkade, L. L., & Potvin, A. R. (1981). Cognitive style, EEG waveforms and brain levels. *Human Systems Management*, 2(4), 329-331.
- Schroeder, N., Eliot, J., Greenfield, S., Soeken, K. (1976). Consistency of lateral eye shift related to preschoolers' performance on an analytic perceptual task. *Perceptual and Motor Skills*, 1976, 42, 634.
- Semple, C. M., Oltman, P. K., & Goldstein, L. (1979). EEG amplitude asymmetry related to the field-dependence-independence cognitive style. *Ets Research Report Series*, 1979(2), i-16.
- Sharma, N., Pomeroy, V. M., & Baron, J. C. (2006). Motor imagery: a backdoor to the motor system after stroke?. *Stroke*, 37(7), 1941-1952.
- Shedletsky, L. J. (1990). Cognitive style, family handedness, and degree of laterality account for inconsistent sex differences in direction of gaze. *Journal of Social Behavior and Personality*, 5(4), 403.
- Shevrin, H., Smokler, I. A., & Wolf, E. (1979). Field independence, lateralization and defensive style. *Perceptual and motor skills*, 49(1), 195-202.
- Silverman, A. J., Adevai, G., & MCGough, W. E. (1966) Some relationships between handedness and perception. *Journal of Psychosomatic Research*, 10, 151- 158
- Stevens, J. P. (2012). *Applied multivariate statistics for the social sciences*. Routledge.

- Tamm, M. O., Muhammad, Y., & Muhammad, N. (2020). Classification of Vowels from Imagined Speech with Convolutional Neural Networks. *Computers*, 9(2), 46.
- Tennant, M. (1988) *Psychology and Adult Learning* (London, Routledg).
- Tinajero, C., Páramo, M. F., Cadaveira, F., & Rodriguez-Holguin, S. (1993). Field dependence-independence and brain organization: the confluence of two different ways of describing general forms of cognitive functioning? A theoretical review. *Perceptual and motor skills*, 77(3), 787-802.
- Tornimbeni, S., Pérez, E; Olaz, F. & Fernández, A. (2004) *Introducción a los Tests Psicológicos*. 3º Edición revisada y aumentada. Ed. Brujas Córdoba, Argentina.
- Townsend, G., Graitmann, B., & Pfurtscheller, G. (2006). A comparison of common spatial patterns with complex band power features in a four-class BCI experiment. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 53(4), 642-651.
- Valencia, L. I., & López, G. C. H. (2012). Actitudes-Estilos de enseñanza: Su relación con el rendimiento académico. *International Journal of Psychological Research*, 5(1), 133-141.
- Vargas Huertas, W. (2016). Validación y adaptación de la versión digital del test CEFT de estilos cognitivos en la dimensión dependencia independencia de campo.
- Villamizar, S. I (2019). Development of algorithms to improve the technical efficiency of capturing, processing, and identification of eeg signals in the word imagery task [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Colombia.
- Wang, L., Liu, X., Liang, Z., Yang, Z., & Hu, X. (2019). Analysis and classification of hybrid BCI based on motor imagery and speech imagery. *Measurement*, 147, 106842.
- Waber, D. P. (1976) Sex differences in cognition: a function of maturation rate? *Science*, 192, 572-574.
- Wise, R., Chollet, F., Hadar, U. R. I., Friston, K., Hoffner, E., & Frackowiak, R. (1991). Distribution of cortical neural networks involved in word comprehension and word retrieval. *Brain*, 114(4), 1803-1817.
- Witkin, H. A., & Lewis, H. B. (1954). Hertzman, M., Machover, K., Meissner, Pb, & Wapner, S. *Personality through p perception*. New York: Harper, 1954. Pp.

- Witkin, H. A., Dyk, R. B., Fattuson, H. F., Goodenough, D. R., & Karp, S. A. (1962). *Psychological differentiation: Studies of development*.
- Witkin, H. A. (1971). *A manual for the embedded figures tests*. Consulting Psychologists Press.
- Witkin, H. A., Moore, C. A., Goodenough, D. R., & Cox, P. W. (1977). Field-Dependent and Field-Independent Cognitive Styles and Their Educational Implications. *Review of Educational Research*, 47(1), 1–64.
- Witkin, H. A., Goodenough, D. R., & Oltman, P. K. (1979) Psychological differentiation: current status. *Journal of Personality and Social Psychology*, 37, 1127-1145
- Xu, J., & Zhong, B. (2018). Review on portable EEG technology in educational research. *Computers in Human Behavior*, 81, 340-349.
- Yoshimura, N., Satsuma, A., Dasalla, C. S., Hanakawa, T., Sato, M. A., & Koike, Y. (2011). Usability of EEG cortical currents in classification of vowel speech imagery. 2011 International Conference on Virtual Rehabilitation, ICVR 2011, 2–3. <https://doi.org/10.1109/ICVR.2011.5971870>.
- Yoshimura, N., Nishimoto, A., Belkacem, A. N., Shin, D., Kambara, H., Hanakawa, T., & Koike, Y. (2016). Decoding of covert vowel articulation using electroencephalography cortical currents. *Frontiers in neuroscience*, 10, 175.
- Zhang, R., Li, X., Wang, Y., Liu, B., Shi, L., Chen, M., et al. (2019). Using brain network features to increase the classification accuracy of MI-BCI inefficiency subject. *IEEE Access* 7, 74490–74499. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2917327.
- Zoccolotti, P. (1977) Field dependence and patterns of cerebral lateralization. Paper presented at the 48th meeting of the Eastern Psychological Association, Boston, Massachusetts.
- Zoccolotti, P. (1982). Field dependence, laterality and the EEG: a reanalysis of O'Connor and Shaw (1982). *Biological Psychology*, 15, 203–207.
- Zoccolotti, P., & Pizzamiglio, L. (1986) Lateral differences in face processing: effects of sex and cognitive style. In R. Bruyer (Ed.), *The neuropsychology of face perception and facial expression*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. Pp. 201-218.

Apendices

Apendice 1. Representaciones de áreas de broadman y áreas funcionales cerebrales involucradas con el procesamiento de lenguaje

Apendice 2. Tablas antecedentes reconocimiento de señales eeg e imaginaria de vocales

Apendice 3. Tablas antecedentes relación estilo cognitivo y señales eeg

Apendice 4. Esquema de diseños factoriales que se para someter a experimentación de forma exploratoria las hipótesis planteadas.

Apendice 5: test de figuras enmascaradas (eft, embedded figures test) (versión lopez et al., 2019)

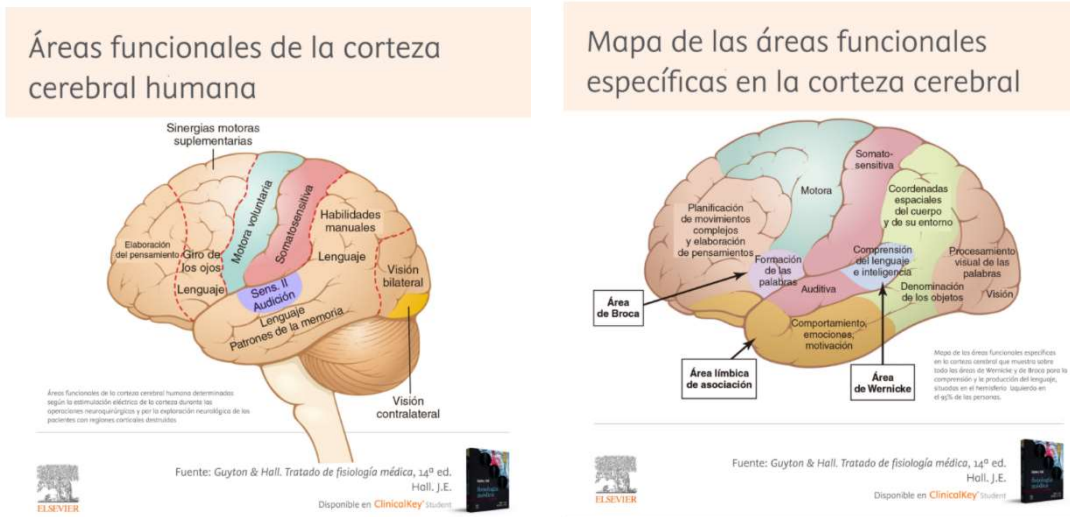
Apendice 6. Descripción de la base de datos de señales eeg obtenidas del imaginario de vocales a partir de 14 electrodos ubicados en el hemisferio izquierdo de 70 sujetos hispanohablantes.

Apendice 7. Reporte de resultados obtenidos de imfs con diferencias significativas identificadas de acuerdo al análisis mixto de medidas repetidas multivariante con spss

APENDICE 1
REPRESENTACIONES DE ÁREAS DE BROADMAN Y ÁREAS FUNCIONALES CEREBRALES
INVOLUCRADAS CON EL PROCESAMIENTO DE LENGUAJE

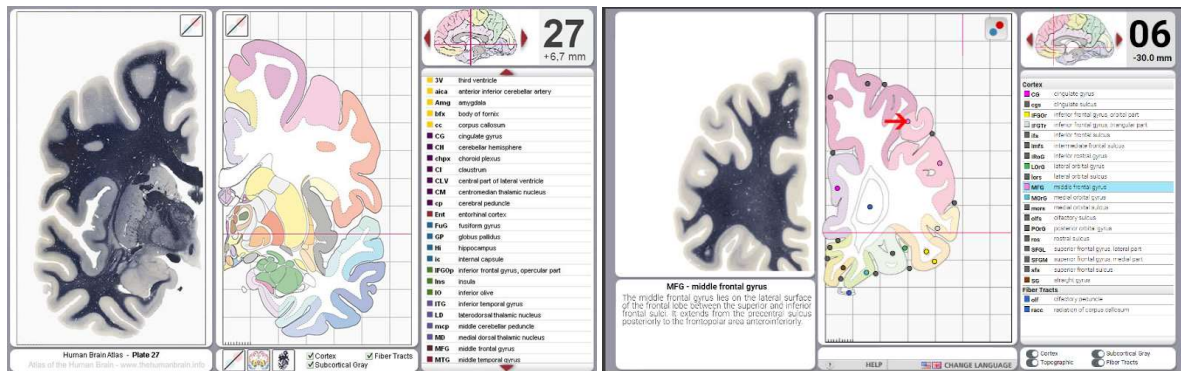
LINK 1: <https://www.elsevier.com/es-es/connect/medicina/Areas-funcionales-de-la-corteza-cerebral-humana>

Artículo de springer que representa las áreas funcionales, a la derecha se indican las más relevantes involucradas en el procesamiento del lenguaje humano



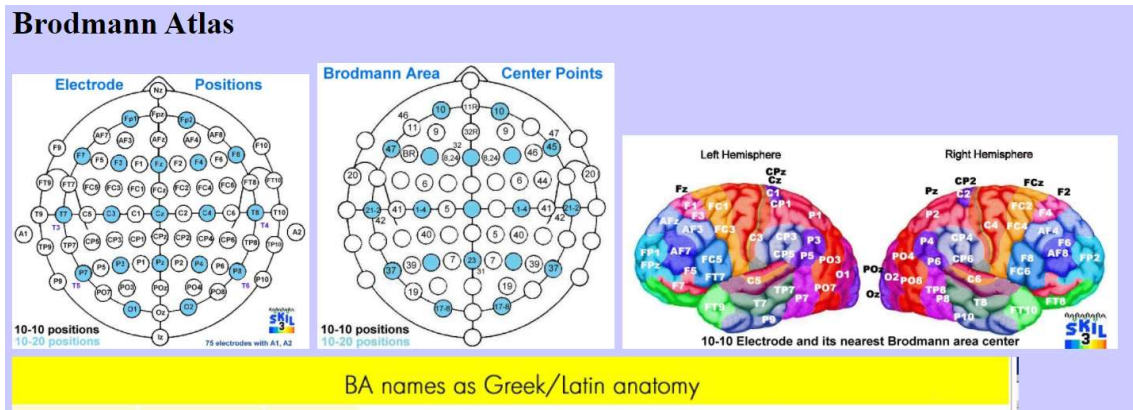
LINK 2: <https://www.thehumanbrain.info/brain/sections.php>

El anterior link es un atlas interactivo donde se pueden identificar a manera de mapa neuroanatómico los lugares en detalle donde se desarrolla el procesamiento del habla via dorsal y ventral.



LINK 3: https://www.brainm.com/software/pubs/dg/BA_10-20_ROI_Talairach/functions.htm

Correlación entre áreas de broadman y ubicación de electrodos según el sistema 10-20 a través de un mapa interactivo con vínculos a artículo de investigación relacionados neuroimagen.



LINK 4: <https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/brodmann-areas>

Mapa topográfico de las áreas de Brodmann y su función cognitiva

Brodmann areas

Anatomical basis

Important Brodmann areas

All Brodmann areas

Lesions of Brodmann areas

Sources

Author: [Alice Ferng B.S., MD, PhD](#) · Reviewer: [Dimitrios Mytilinaios MD, PhD](#)
 Last reviewed: October 28, 2021
 Reading time: 12 minutes

Originally defined and numbered into 52 regions by the German anatomist Korbinian Brodmann in the early 1900's, the **Brodmann areas** of the cerebral cortex are defined by its cytoarchitecture (histological structure and cellular organization).

It is important to remember that the same Brodmann area numbers in humans and primates often do not translate to other species. In addition, these Brodmann areas have been widely redefined, discussed, debated, and refined exhaustively based on cytoarchitecture, cortical functions, and brain plasticity.

Área 1 de Brodmann
 Area Brodmann 1

Synonyms: Área somatosensorial primaria

APENDICE 2
TABLAS ANTECEDENTES RECONOCIMIENTO DE SEÑALES EEG E IMAGINARIA DE VOCAL

Tabla 1. Resumen antecedentes *Machine Learning* para el reconocimiento del imaginario de vocales

Referencia Año	Objetivo	No Sujetos y Dominio	Área cerebral y electrodos	No y tipos de comandos de control	Características EEG	Algoritmos de clasificación	Evaluación del Desempeño
Fujimaki 1994	Mapeo ERP para vocal /a/	8/DF-PE-ERP	12 electrodos, Fp1, Fp2, F7, Fz, F8, C3, C4, T5, Pz,	estimulo led para sincronizar habla	filtro 8 Hz +FFT	intrabloque ERP para Exper A y	punto máx ERP en Fz, área SMA, para
Callan 2000	EEG para analizar percepción y producción del habla	7 (4 Japón, 2 USA y 1 Brasil/ DE+DF-PE	30 electrodos VEOG y HEOG	escuchar, hablar y realizar ensayo mental (MR) /a/, /i/, /u/	Frecuencia Gama 30-50 Hz +ICA +ICs para AER y SPR	análisis de media EHF de Sp vs MR	IC8, área de Broca y distingue entre SP y MR AER
D'Zmura 2009	Efecto del imaginario de dos sílabas en bandas alfa, beta y teta	4/DF	128 electrodos	2 sílabas x 3 ritmos así /ba/, /ku/ y ritmos alfa beta y teta	filtro elíptico, pasabanda, transformada de	Matriz de confusión	beta (13-18 Hz) +informativa, theta (3-8Hz) y alpha (8-13Hz)
DaSalla 2009	control EEG imaginario de vocales SRP para BCI de brazo robótico	3(nativos de habla ingles)/ DE+DF-PE	64 electrodos etiquetados Fz, C3, Cz y C4	imaginario del habla vocales en inglés /a/ y /u/ y sin acción	SRP potenciales relacionados con el habla+CSP	SVM no lineal, clasificación de ensayo único	precisión de 68% a 78%. Mejor combinación /u/:control, seguida de
Brigham 2010	Comunicación telepática por decodificación EEG de habla silenciosa	7 /DT	128 electrodos	Imaginación de las sílabas en inglés /ba/ and /ku/	Coefficientes autoregresivos AR, ICA, PCA	K-nn	precisión 46 a 88%
Yoshimura 2011	Método Bayesiano Jerárquico para reconocimiento del imaginario vocales	3 /ccEEG y DE	32 electrodos +1 fMRI, Brodmann 1, 2, 3, 4, 6, 9, 22, 39, 40, 41, 42, 44 y 45 producción del habla	imaginario del habla de vocales con redondeo de labios /a/, /u/, y sin imaginar	método bayesiano jerárquico	SLR-VAR del toolbox Regresión logística	corrientes corticales 61,2% mejor en comparación con el 49,9% con sensores de
Matsumoto 2014b	clasificación de habla silenciosa de vocales con EEG	5 / DF-ERP	19 Electrodos, ERP	imaginación de vocales japonesas /a/, /i/, /u/, /e/, and /o/,	RVM Linear, RVM con Kernel Gausiano y SVM con Kernel	Filtro CSP y CA, SVM-G, AC, RVM	CA + RVM-L 50%. Sin embargo, CA +RVM-G 75 al 87%. CA que
Sarmiento 2014	EEG identificación imaginario de vocales abiertas (/a/, /o/) -medias (/e/) y cerradas	5 (Colombia) / DF	21 electrodos HI área del lenguaje	Imaginación de vocales abiertas y medias /a/, /e/ y /o/, y después en las vocales cerradas /i/ y	filtro elíptico HP 2Hz y LP 50Hz, PSD (2-16 Hz)	SVM vocales abiertas vs cerradas+ANOV A	precisión 84% y 94%, Vocales cerradas delta (4 Hz) (12 - 17 - 21) y alfa (10 Hz) (21 - 20 -
Riaz 2014	Comparación de Clasificadores entre vocales imaginadas vs habladas	2 / DE y DF	G1:20 electrodos, G2: 8 electrodos HI, G3 y G4, canales, Cz, F3, C3 F7, T3 y	G1: imaginación de vocales /a/, /u/ o control, G2: vocales habladas, G3: HI, G4	CSP+MFCCs, AR, alfa, beta, 8-40 Hz, SVD+CSP	LDA, SVM, HMM, K-nn, se hizo con clasificador por	Mejor clasificación /a/, /i/ y /e/, /u/ con precisión 75% S1 y 68% S2 con MFCC. Áreas de
Ghane 2015	Imaginación de vocales EEG para control de BCI brazo protésico	10 / DT, DF, DE y TW	21 electrodos, área de Broca y Wernicke	Vocales Español Colombia /a/, /e/	PCA -Matriz de covarianza y descomposición SVD	RPCA+APG	PCA no ofrece una solución óptima, RPCA es ligeramente mejor
Iqbal 2015	Mejorar el rendimiento de clasificación en el habla imaginada de	3 / DT+DF	Base de datos de DaSalla quien usó 4 electrodos del cortex	imaginación del movimiento de la boca en inglés /a/, /u/, reposo	varianza, entropía, energía de la señal en la frecuencia 0,5	Lineales cuadrático y SVM	77,5 a 100% de precisión
Min 2016	clasificar los datos de EEG en el habla imaginada de vocales en una sola prueba	5 (Korea) / DTF	64 electrodos +IIR	Imaginación de vocales, /a/, /e/, /i/, /o/, /u/, mute	media, varianza, desviación estándar y asimetría	ELM, ELM-R, ELM-L, LDA, SVM-R	ELM-R gamma (30-70 Hz) lob temp izq, /a/ y /i/ mejor discriminación
Manca 2016	Reconocimiento de vocales imaginadas en señales EEG para SSI	12 (Italia) / DTF	64 electrodos,	producción abierta OP, cubierta CP e imaginada IP de vocales italianas /a/, /i/	ICA+ICs+Análisis espectral AF/PSD/maximización de Fisher	Red neuronal prealimentada ANN/AUC+ROC humbral CP 0,83-0,96 IP 0,89-0,98	Región posterior más discriminativa para IP, precisión CP e IP 0,91 y 0,93
Coretto 2016	Reconocer vocales imaginadas con EEG para BCI	15 (Argentina) / DF+DE	6 electrodos, F3, F4, C3, C4, P3, y P4	Imaginario de vocales en español /a/, /e/, /i/, /o/, /u/ y 6 palabras	ICA+FIR/DWT 5 niveles y Daubechies 4/RWE	SVM y RF	RF tasa de reconocimiento vocales 22,32 (± 1,81)
Yoshimura 2016	Corrientes corticales (ccEEG) para control de BCI por deletreos	10 (japón) /ccEEG +DF-ERP	fMRI corrientes corticales y 30 sensores EEG	articulación encubierta de las vocales japonesas /a/ y /i/	SPM8/VBMEG +EPIs y 2 hiperparámetros	Regresión logística dispersa (SLR)	>precisión ccEEG indica MFG izq (BA46), IFG der (BA47), PM izq (BA6) e
Nguyen 2017	Reconocimiento de vocales imaginadas metodo matrices covarianza+Riemann	15 / DF	64 electrodos	imaginario del habla de palabras cortas /in/, /out/, /up/, palabras largas /cooperate/, /independe nt/ y vocales /a/, /i/, /u/	Coefficientes Morlet wavelet, características de bajo nivel, matriz de covarianza	CSP binario-PCA-LDA+SVM/RVM	Para las vocales, el RVM ($\mu = 49.0, \sigma = 2.4$) funcionó mejor que el clasificador ELM ($\mu = 45.2, \sigma = 2.3$)
Morooka 2018	BCI con imaginario de sonidos de vocal	3 / DT	8 electrodos en el lobulo temporal izquierdo	Imaginario de sonidos de vocales en inglés /a/, /i/, /u/, /e/ o/ y la acción "silencio"	Promedio, dispersión, diferencial estándar y asimetría+PCA	SVM, DT, LDA, QDA	79,7% con SVM
Ghosh 2019	Reconocimiento de habla silenciosa con EEG y optimización GWO	45 (India) / DT	64 electrodos	Imaginario de vocales en inglés /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/	media, SD, varianza, entropía, amplitud pico a pico, curtosis y potencia de banda	GA+BGWO+SV M	precisión del 65% promedio vocales imaginadas
Agarwal 2020	Clasificación de imaginario de vocales /a/, /u/	3(nativos de habla ingles) /DE, DF	64 electrodos y se seleccionaron 4 Fz, C3, Cz y C4	Imaginario de vocales en inglés /a/, /u/ y /rest/	CSP, CSP+estad, CSP+Wavelet, CSP+Wavelet+Estad (SD,RMS,	Random Forest (RF), LSVM, GSVM	máxima precisión delta 91% y theta 89% con RF

Tabla 2. Resumen antecedentes métodos invasivos para el reconocimiento del imaginario de vocales

Referencia Año	Objetivo	No Sujetos y Dominio	Área cerebral y electrodos	Tareas Cognitivas	Características EEG	Algoritmos de clasificación	Evaluación del Desempeño
Brumberg 2011	clasificación supervisada de imaginario de fonemas	1 (síndrome LIS)	arreglo de microelectrodos en giro precentral izquierdo, cortex motor primario y premotor	38 fonemas en inglés de vocales, consonantes monoftongas y diptongas	amplitud de pico/valle, altura, energía y amplitud en el punto de alineación de la espiga	LDA / SVM / FDA	Presición LDA 16 al 21% para 24 de 38 fonemas imagina sonidos de vocales con posición de lengua al frente en cortex motor Izq
Ikeda 2014	modelos de aprendizaje automático para decodificación neural de articulación encubierta de vocales	4 (epilepsia intratable)	implante de microelectrodos ECoG HI regiones frontal, temporal y parietal, 1 sujeto en amígdala e hipocampo ant y post	representación auditiva de articulación encubierta de 3 vocales en japones /a/, /i/, y /u/	Electro - estimulación ESM, Registro de banda gama alta ECoG+FFT / Espectro de potencia z-scores	Clasificador Lineal-LIBSVM	área motora primaria, corteza premotora, STG, etc. Precisión 42,2 al 46,7% (nivel de probabilidad del 33,3%). Área de Broca no presenta dif significativas
Brumberg 2016	reconocimiento neural de la evolución espacio-temporal del habla continua y encubierta	8 (epilepsia intratable)	implante de microelectrodos ECoG 16 electrodos lob temporal y 1 sujeto lob frontal	lectura de texto en voz alta e imaginada en silencio (encubierta) sin subvocalización	Filtro CAR, FIR 116–124 Hz y 70–170 Hz, Transformada Hilbert	Estadísticos + FDR y coordenadas de Talairach	áreas activadas La corteza auditiva, áreas ventrales premotoras y motoras primarias, FEF y DLPFC
Pei 2011	Discriminación de vocales y consonantes incrustadas en palabras habladas e imaginadas	8 (epilepsia intratable)	implante de electrodos ECoG HI	36 palabras abierta y encubierta con monosílabos CVC, _V_y C_C con vocales /e/, /i/, /u/	DTF/Transformada de Talairach, CAR, modelo AR y bandas 8–12 Hz, 18–26 Hz, and 70–170 Hz	MRMR / Bayesiano	presición 37.5±5.9% (articulación encubierta) 5/6 sujetos, p<0.007/Región premotora +Broca y Wernicke, /u/ más discriminante

Tabla 13. Resumen antecedentes *Deep Learning* para el reconocimiento del imaginario de vocales

Referencia Año	Objetivo	No Sujetos y Dominio	área cerebral y electrodos	No y tipos de comandos de control	Características EEG	Algoritmos de clasificación	Evaluación del Desempeño
Villamizar 2019	Eficiencia de reconocimiento de vocales, sílabas y palabras en señales EEG de habla silenciosa	20 / DL	BD 1: 21 electrodos activos, BD2: 14 electrodos / NDB / KARA ONE y DDB	Imaginario de vocales en español /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/ y sílabas /fa/, /pe/, /mi/, /lo/, /ru/ entre otras	SVD-MEMD, MARS+mRMR, PLV+DLA	CNN	Presición ET 79 % con base de datos NBD/ PLV 86% NDB
Chengaiyan 2019	Recuperación de vocales con la señal EEG imaginario CVC	6 (india) / DL	19 electrodos, pares HI impares HD, bandas de frecuencia y DL	imaginario de vocales /a/, /e/, /i/, /o/, /u/ con cada vocal que contiene 10 palabras de consonante-vocal-consonante (CVC)	coherencia EEG, DTF, PDC, entropía y entropía de transferencia	CTC-ASR, RNN y DVN	activación frontal izq y temp izq. 72% ANN y 80% DBN, banda teta (3-8Hz) para /e/, /o/, /u/ en F3, F7, T3 y T5
Malekzadeh 2020	Clasificar el imaginario de vocales del lóbulo Frontal con DL	15 (USA) / DL	64 electrodos	Vocales imaginadas en inglés /a/, /i/, /u/	Matriz de validación cruzada	LSTM, CNN	Presición LSTM 90%, 20 electr frontales
Tamm 2020	Clasificación de vocales imaginadas con CNN	15 (Argentina) / DL	6 electrodos, F3, F4, C3, C4, P3, y P4	Imaginario de vocales en español /a/, /e/, /i/, /o/, /u/ y 6 palabras	Replica estudios Coretto y Cooney	CNN +3 métodos de aprendizaje TL	Presición modelo propuesto 23,98%, Cooney 32.75% (±3.23)

Tabla 4. Resumen antecedentes sobre evaluación de la relación entre dependencia-independencia de campo y hemisfericidad.

Autor y Año	Objetivo	Sujetos	Tipo de prueba	Tarea cognitiva	Protocolo de análisis	Áreas cerebrales identificadas
Oltman, Semple, Goldstein., 1979	Estilo cognitivo y diferenciación interhemisférica en la señal EEG	17 (9 DC y 8 IC)	RFT, EFT y EEG 10-20	4 tareas de aritmética con ojos abiertos y cerrados +reconocimiento facial+reconocimiento de palabras+video	Análisis de correlación por amplitudes izq Vs der para Lob occi y temp, análisis de varianza	Las variaciones en las amplitudes del HD o HI a lo largo del tiempo fueron más similares entre los sujetos DC que entre el grupo IC
Semple, Oltman, Goldstein., 1979	Análisis de correlación de la amplitud en la asimetría EEG relacionada con el estilo cognitivo DIC	9 DC y 8 IC hombres mano Derecha dominante	Test Road and Frame y EFT	4 tareas de aritmética, reconocimiento facial y de palabras abstractas, video con colores y figuras abstractas, ojos abiertos y cerrados	Amplitudes integradas EEG. varianzas y radios R/L sobre Lob occi y temp	Las personas con gran aghabilidad espacial muestran un balance "tónico" de la amplitud EEG favoreciendo la activación del hemisferio derecho en todos los experimentos a diferencia de aquellos con patrón de activación reversa

Tabla 5. Resumen antecedentes sobre dimensión DIC con dominancia periférica.

Autor y Año	Objetivo	Sujetos	Tipo de prueba	Tarea cognitiva	Protocolo de análisis	Áreas cerebrales identificadas
Schkade & Potvin, 1981	Analizar la relación entre preferencia de empleo y la señal EEG dominante interhemisférica con el estilo cognitivo	12 estudiantes de contabilidad y 12 estudiantes de arte	encuesta de perfil de aprendizaje de Herrmann + EEG	5 tareas cognitivas	afilat (8 a 13Hz), potencia de la onda EEG interhemisférica + relación media por individuo y por grupos	Lob Temporal y occipital, Contabilidad 0,77 y arte 1,2 $p \leq 0,001$. IC son HD y DC son HI
Federico, P. A. (1984)	El potencial relacionado con eventos (ERP) se correlaciona con estilos cognitivos, habilidades y aptitudes. Personalidad y diferencias individuales	50 diestros	11 pruebas psicométricas de estilos cognitivos, habilidades y aptitudes/Dimensión DIC HFT. Se registraron las amplitudes visuales (VERP), auditivas (AERP) y bimodales (BERP) del (ERP)	Estimulo visual patrones de tablero de ajedrez en blanco y negro y estímulo auditivo clic en Desibeles+Pruebas de estilos cognitivos, capacidades intelectuales y aptitudes	Se calcularon las correlaciones canónicas y producto-momento	Establecieron que los VERP y BERP obtenidos en las regiones frontal, temporal, parietal y occipital estaban relacionados con habilidades y aptitudes: aptitud general, comprensión lectora y verbal y habilidad espacial; y un estilo cognitivo: dependencia-independencia del campo
McKay, Fischler, & Dunn, 2003	Estilo cognitivo y recuerdo de texto: un análisis de EEG	45 sujetos (22 M y 23H)	estilos "analítico" y "holístico" representación verbal, conceptual, versus la imaginaria y las formas visuoespaciales	textos expositivos (Los niveles 1 y 2 son información esencial o superior, y los Niveles 3 y 4 son información subordinada o "detallada") y poesía	Pares laterales (Fp1- Fp2, F7 - F8, F3 - F4, T3 - T4, C3 - C4, T5 - T6, P3 - P4, O1 - O2) y tres electrodos de línea media (Fz, Cz, Pz). Registro con ojos abiertos	La correlación fue, en el mejor de los casos, alrededor de .40, que captura menos del 20% de la varianza en el recuerdo

Tabla 14. Resumen antecedentes sobre lateralización de funciones asociadas con uno de los hemisferios cerebrales.

Autor y Año	Objetivo	Sujetos	Tipo de prueba	Tarea cognitiva	Protocolo de análisis	Áreas cerebrales identificadas
O'Connor & Shaw, 1978	Analizar la lateralidad y su relación con el estilo cognitivo mediante EEG	12 izq y 12 der	Análisis de coherencia EEG Vs test RTF con método de análisis de Nyborg + t-student individual	reposo con ojos cerrados	banda alfa 7.2 a 12.3 Hz	De 12 der 4 son DC y de 12 izq 5 son DC. Se confirma la hipótesis de lateralización Lob Parietal y Occipital
Zoccolotti 1982	Corrección del análisis de lateralidad y coherencia EEG O'CONNOR AND SHAW (1978)	12 izq y 12 der	Análisis de coherencia EEG Vs test RTF con método de análisis de Nyborg + t-student individual	reposo con ojos cerrados	correlación con concordancia W de Kendall de RFT; lateralidad; espectros de coherencia interhemisférica en la sesión 1; y espectros de coherencia interhemisférica en la sesión 2	IC = coherencia EEG más bajos que DC, der e izq IC tenían mayor destreza en su preferencia lateral que los DC. Los ambidiestros tienden a ser altamente DC
Manning & Ballesteros 1985	Dependencia-Independencia de campo y diferenciación hemisférica en tareas de escucha dicótica	60 sujetos 30 M y 30 H, (27 DC y 33IC)	RTF, EFT y GEFT	prueba de escucha dicodica verbal y musical con escucha independiente lateralizada y memorización de estímulos	prueba Ascombe para transformar datos discretos en lineales, análisis medias, DE y prueba t-student para contraste DC, IC y Total	Pruebas verbales con el oído der muestra una alta diferencia significativa entre el grupo total e IC, los sujetos DC no presenta diferencias significativas. la prueba musical para el grupo total confirma el procesamiento en el HD por sujetos IC, los DC no muestran diferencias

APENDICE 3
TABLAS ANTECEDENTES RELACIÓN ESTILO COGNITIVO Y SEÑALES EEG

Tabla 1. Resumen antecedentes A, sobre localización cerebral de los procesos involucrados en la dimensión DIC.

Autor y Año	Objetivo	Sujetos	Tipo de prueba	Tarea cognitiva	Protocolo de análisis	Áreas cerebrales identificadas
Federico, P. A. (1984)	El potencial relacionado con eventos (ERP) se correlaciona con estilos cognitivos, habilidades y aptitudes. Personalidad y diferencias individuales	50 diestros	11 pruebas psicométricas de estilos cognitivos, habilidades y aptitudes/Dimensión DIC HFT. Se registraron las amplitudes visuales (VERP), auditivas (AERP) y bimodales (BERP) del ERP.	Estímulo visual patrones de tablero de ajedrez en blanco y negro y estímulo auditivo click en Desibeles+Pruebas de estilos cognitivos, capacidades intelectuales y aptitudes	Se calcularon las correlaciones canónicas y producto-momento	establecieron que los VERP y BERP obtenidos en las regiones frontal, temporal, parietal y occipital estaban relacionados con habilidades y aptitudes: aptitud general, comprensión lectora y verbal y habilidad espacial; y un estilo cognitivo: dependencia-independencia del campo
Kahapi, (1987).	Estilo cognitivo y ansiedad en relación con el componente P300 de la forma de onda potencial relacionada con el evento en varones de once y doce años	20 sujetos diestros	Inventario de rasgo de estado para niños mide dos constructos de ansiedad: ansiedad de estado y de rasgo.+GEFT+Prueba de habilidad de Edimburgo	El Stroop Color-Word Test y Tarea de bloques de color (los dos montados en computadora)+P300 para digma odblall	Promedio onda ubicación cerebral (Pz, Cz, LVf y Rtf), componente P300 amplitud +latencia/ANOVA	Ansiedad alta +dictactor pueden causar una reducción funcional en el rango de atención. DC pierde más fácilmente la atención que un IC
Earle y col., 1996	Estilo cognitivo matemático y comprensión de signos aritméticos: Un estudio de la actividad alfa y theta del EEG	(LHO)' (N = 9) (RHO)' (N = 9)	puntuaciones positivas y negativas en la Escala de estilo cognitivo matemático (MCSS)	4 condiciones, línea base motora, dos tareas de recuperación de hechos aritméticos con operador de signos o operador verbal y una tarea de comprensión de signos completando un signo faltante (por ejemplo, 6? 4 = 24).	análisis correlacional entre sujetos de la asimetría y rendimiento del EEG alfa 1 y banda teta en derivaciones parietales (P3, P4), postemporales (T5, T6) mesotemporales (T3, T4) y frontales laterales (F7, F8) 15-100 Hz y 0.5-40 Hz	Una contribución algo única del hemisferio derecho a la comprensión de signos. Los sujetos LHO exhibieron una mayor activación relativa del lóbulo temporal medio izquierdo que los sujetos RHO pero menos activación frontal izquierda relativa (banda theta) que los sujetos RHO durante la tarea del operador verbal
Glass & Riding, 1999	Diferencias en el estilo cognitivo sobre los ritmos EEG	15 sujetos	Holístico-analítico y Verbal-imaginariol, evaluaco con prueba computacional (Riding, 1991)	Palabras presentadas a diferentes velocidades	línea media (Fz, Cz y Pz), paramedial (Fp1, C3 y O1-izq and Fp2, C4 y O2-der) y lateral (F7, T3 y T5-izq y F8, T4 y T6-der), ritmos delta (0.0-2.9 Hz); theta (3.0-7.9 Hz); beta 1 (13.0 a 17.9 Hz) y beta 2 (18.0 a 24.9 Hz); y gamma (25.0-70.0 Hz). Análisis de medidas repetidas, con más de dos niveles, se utilizó el procedimiento de Huynh-Feldt para compensar las violaciones de la esfericidad, informando el valor épsilon y las probabilidades ajustadas. Se realizaron pruebas t post hoc sobre las interacciones significativas y se informarán todos los valores t significativos.	Se obtuvieron 4 grupos globalizador-verbalizador (n = 3), analítico-verbalizador (n = 4), globalizador-visualizador (n = 4) y analítico-visualizador (n = 4). Para la línea media, los holistas tuvieron una producción más alta que la analítica en theta y alfa, pero más baja en gamma, En el grupo paramedial, los verbalizadores tenían mayor poder derecho que los generadores de imágenes para todas las bandas excepto alfa. poder general era mayor a la derecha para los visualizadores que para los verbalizadores frontalmente y al contrario occipitalmente. En el agrupamiento lateral, los verbalizadores holistas tenían mayor poder general de izquierda antero-temporal que otros subgrupos.

Tabla 2. Resumen antecedentes B sobre localización cerebral de los procesos involucrados en la dimensión DIC

Autor y Año	Objetivo	Sujetos	Tipo de prueba	Tarea cognitiva	Protocolo de análisis	Áreas cerebrales identificadas
Riding y col., 1997	Estilo cognitivo y diferencias individuales en EEG alfa durante el procesamiento de la información	15 sujetos	Wholist-Analytic y el Verbal-Imagery mediante prueba computacional	Estimulo visual presentado a una velocidad de dos, cinco y 10 palabras / seg y en pares a cinco y 10 pares de palabras / seg presionando una tecla al aparecer una palabra que en una categoría conceptual objetivo (ejem, una fruta).	EEG de banda alfa (8-13Hz) en 15 ubicaciones FP1, FP2, F7, Fz, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, Pz, T6, O1, y O2. Se hizo análisis de media de radios y análisis de varianza con medidas repetidas	Para el estilo Wholist-Analytic, Analytics tenía, en todas las tareas, un poder alfa más bajo en relación con los Wholistas en todas las ubicaciones, y particularmente posteriormente. Con la dimensión Verbal-Imagery, hubo efecto de estilo-hemisferio, con Verbalisers teniendo relativamente más supresión en la ubicación temporal posterior izquierda T5 en comparación con T6 derecho, y Imagers teniendo lo contrario
Hao y col., 2013	Las diferencias individuales en la estructura cerebral y la función cerebral en reposo subyacen a los estilos cognitivos: evidencia de la prueba de figuras incrustadas	261 sujetos (132M y 129 H diestros)	Dependiente de campo e independiente de campo+EFT+fmRN, versión china de la prueba combinada de Matrices Progresivas (CRT) de Raven para la inteligencia fluida	Estado de reposo fMRI refleja las propiedades regionales de la actividad neuronal intrínseca del cerebro	Se investigaron los correlatos neuronales de las diferencias individuales en los estilos cognitivos DIC con correlaciones entre (EFT) datos de neuroimagen estructural [el volumen regional de materia gris (rGMV) / datos de neuroimagen funcional [amplitud de la fluctuación de baja frecuencia (ALFF)] en todo el cerebro. Análisis de regresión múltiple lineal (GMV), covariables edad, sexo, puntaje CRT y volúmenes globales de GM se registraron	el aumento de rGMV en el lóbulo parietal inferior izquierdo (LPI) se asoció con la puntuación de EFT, se encontró una correlación positiva significativa entre la puntuación ALFF y EFT en la red frontoparietal, incluido el lóbulo parietal inferior izquierdo (IPL) y la corteza prefrontal medial (mPFC).
Jia, Zhang & Li, 2014	La dependencia de campo: la independencia modula la eficiencia de filtrar información irrelevante en una tarea de memoria de trabajo visual	168 sujetos	Dependencia-independencia de campo (IED) atención selectiva y la memoria de trabajo	tarea de detección de cambios con una etapa de memoria y una etapa de prueba. Se presenta la misma cantidad de elementos en los campos visuales izquierdo y derecho, pero solo un lado está relacionado con la tarea. Tarea VWM	(ERP), específicamente con la actividad de retardo contralateral (CDA), Restando la actividad ipsilateral de la actividad contralateral se obtiene la onda de diferencia, que es CDA. ANOVA de dos vías	las tasas de respuesta correctas y las amplitudes de CDA en las condiciones de 2 elementos y 2 elementos-2 distractores eran comparables para el campo participantes de la independencia (FI). Los participantes con dependencia del campo (FD) se desempeñaron peor y la amplitud del CDA mejoró cuando aparecieron los distractores

Tabla 3. Resumen antecedentes C sobre localización cerebral de los procesos involucrados en la dimensión DIC.

Autor y Año	Objetivo	Sujetos	Tipo de prueba	Tarea cognitiva	Protocolo de análisis	Áreas cerebrales identificadas
Imanaka, Kakigi & Nakata, H2017	La relación entre el estilo cognitivo y los potenciales relacionados con eventos durante los paradigmas auditivo y somatosensorial Go / No Go	21 mujeres diestras	Dependencia-independencia de campo+EFT versión japonesa en papel	paradigmas auditivos y somatosensoriales Go / No-go, auditivo 1500 y 1000 Hz 65 dB y somatosensorial estímulo eléctrico en el 2o y 5o dedo de la mano izq	Fz, Cz, Pz, C3, y C4, en los paradigmas auditivos Go / No-go, las amplitudes máximas y las latencias de N100 y P300 se midieron a 75-125 y 240-500 ms, respectivamente. En los paradigmas somatosensorial Go / No-go, las amplitudes máximas y las latencias de N140 y P300 se midieron a 120-230 y 240-500 ms, respectivamente. +ANOVA	los estilos cognitivos de la FDI estaban relacionados con la actividad neuronal para el procesamiento ejecutivo e inhibitorio de la respuesta, Las amplitudes Go-P300 y No-go-P300 durante los paradigmas auditivo y somatosensorial Go / No-go fueron significativamente mayores en el grupo FI que en el grupo FD. la actividad neuronal relacionada con la audición, reflejada como N100, no se asoció con los estilos cognitivos de la FDI, que la actividad neuronal relacionada con la somatosensorial, reflejada como N140, no se asoció con los estilos cognitivos de la FDI.
Farmaki y col. 2019	Evaluación de las capacidades cognitivas de la dependencia e independencia del campo a través del procesamiento de percepción biestable basado en el electroencefalograma	31 sujetos diestros	Dependiente-independiente de campo+ prueba de figuras ocultas (HFT) para evaluación visuoespacial y creatividad y Torrance Test of Creative Thinking (TTCT) para creatividad	Observación perceptiva de una imagen biestable. (a) percepción ambigua con fase de entrenamiento y fase de prueba, (b) desempeño visuoespacial FD-I, y (c) desempeño de creatividad.	(Fp1, F7, FC1, C3, T7, CP1, CP5, TP9, P3, and O1), the right hemisphere (Fp2, F8, FC2, C4, T8, CP2, CP6, TP10, P4, and O2), as well as the center of the scalp (Fz, Cz, CPz, and Pz). ERP para inicio de estímulo, 1er presión de botón y 2a presión de botón. se analizaron 12 características amplitud y latencias, banda gama baja (26-40 Hz), alfa (8-13 Hz), y gama alta (26-60 Hz) con método Welch's	La amplitud máxima de la positividad frontoparietal, la deflexión positiva tardía en las áreas frontal y parietal, es mayor para el grupo IC en ubicaciones específicas del lóbulo izquierdo, mientras que ocurre más tarde para el grupo DC en los electrodos central y occipital.

Tabla 4. Resumen antecedentes sobre evaluación de la relación entre dependencia-independencia de campo y hemisfericidad.

Autor y Año	Objetivo	Sujetos	Tipo de prueba	Tarea cognitiva	Protocolo de análisis	Áreas cerebrales identificadas
Oltman, Semple, Goldstein., 1979	Estilo cognitivo y diferenciación interhemisférica en la señal EEG	17 (9 DC y 8 IC)	RFT, EFT y EEG 10-20	4 tareas de aritmética con ojos abiertos y cerrados +reconocimiento facial+reconocimiento de palabras+video	Análisis de correlación por amplitudes izq Vs der para Lob occi y temp, análisis de varianza	Las variaciones en las amplitudes del HD o HI a lo largo del tiempo fueron más similares entre los sujetos DC que entre el grupo IC
Semple, Oltman, Goldstein., 1979	Analizar de correlación de la amplitud en la asimetría EEG relacionada con el estilo cognitivo DIC	9 DC y 8 IC hombres mano Derecha dominante	Test Road and Frame y EFT	4 tareas de aritmética, reconocimiento facial y de palabras abstractas, video con colores y figuras abstractas, ojos abiertos y cerrados	Amplitudes integradas EEG. varianzas y radios R/L sobre Lob occi y temp	Las personas con gran a¿habilidad espacial muestran un balance "tónico" de la amplitud EEG favoreciendo la activación del hemisferio derecho en todos los experimentos a diferencia de aquellos con patrón de activación reversa

Tabla 5. Resumen antecedentes sobre dimensión DIC con dominancia periférica.

Autor y Año	Objetivo	Sujetos	Tipo de prueba	Tarea cognitiva	Protocolo de análisis	Áreas cerebrales identificadas
Schkade & Potvin, 1981	Analizar la relación entre preferencia de empleo y la señal EEG dominante interhemisférica con el estilo cognitivo	12 est contabilidad y 12 est arte	encuesta de perfil de aprendizaje de Herrmann +EEG	5 tareas cognitivas	afiat (8 a 13Hz), potencia de la onda EEG interhemisférica+ relación media por individuo y por grupos	Lob Temporal y occipital, Contabilidad 0,77 y arte 1,2 $p \leq 0,001$. IC son HD y DC son HI
Federico, P. A. (1984)	El potencial relacionado con eventos (ERP) se correlaciona con estilos cognitivos, habilidades y aptitudes. Personalidad y diferencias individuales	50 diestros	11 pruebas psicométricas de estilos cognitivos, habilidades y aptitudes/Dimensión DIC HFT. Se registraron las amplitudes visuales (VERP), auditivas (AERP) y bimodales (BERP) del (ERP)	Estimulo visual patrones de tablero de ajedrez en blanco y negro y estímulo auditivo click en Desibeles+Pruebas de estilos cognitivos, capacidades intelectuales y aptitudes	Se calcularon las correlaciones canónicas y producto-momento	Establecieron que los VERP y BERP obtenidos en las regiones frontal, temporal, parietal y occipital estaban relacionados con habilidades y aptitudes: aptitud general, comprensión lectora y verbal y habilidad espacial; y un estilo cognitivo: dependencia-independencia del campo
McKay, Fischler, & Dunn, 2003	Estilo cognitivo y recuerdo de texto: un análisis de EEG	45 sujetos (22 M y 23H)	estilos "analítico" y "holístico" representación verbal, conceptual, versus la imaginaria y las formas visuoespaciales	textos expositivos (Los niveles 1 y 2 son información esencial o superior, y los Niveles 3 y 4 son información subordinada o "detallada") y poesía	Pares laterales (Fp1- Fp2, F7 - F8, F3 - F4, T3 - T4, C3 - C4, T5 - T6, P3 - P4, O1 - O2) y tres electrodos de línea media (Fz, Cz, Pz). Registro con ojos abiertos	La correlación fue, en el mejor de los casos, alrededor de .40, que captura menos del 20% de la varianza en el recuerdo

Tabla 15. Resumen antecedentes sobre lateralización de funciones asociadas con uno de los hemisferios cerebrales.

Autor y Año	Objetivo	Sujetos	Tipo de prueba	Tarea cognitiva	Protocolo de análisis	Áreas cerebrales identificadas
O'Connor & Shaw, 1978	Analizar la lateralidad y su relación con el estilo cognitivo mediante EEG	12 izq y 12 der	Análisis de coherencia EEG Vs test RTF con método de análisis de Nyborg + t-student individual	reposo con ojos cerrados	banda alfa 7.2 a 12.3 Hz	De 12 der 4 son DC y de 12 izq 5 son DC. Se confirma la hipótesis de lateralización Lob Parietal y Occipital
Zoccolotti 1982	Corrección del análisis de lateralidad y coherencia EEG O'CONNOR AND SHAW (1978)	12 izq y 12 der	Análisis de coherencia EEG Vs test RTF con método de análisis de Nyborg + t-student individual	reposo con ojos cerrados	correlación con concordancia W de Kendall de RFT; lateralidad; espectros de coherencia interhemisférica en la sesión 1; y espectros de coherencia interhemisférica en la sesión 2	IC = coherencia EEG más bajos que DC, der e izq IC tenían mayor destreza en su preferencia lateral que los DC. Los ambidiestros tienden a ser altamente DC
Manning & Ballesteros 1985	Dependencia-Independencia de campo y diferenciación hemisférica en tareas de escucha dicótica	60 sujetos 30 M y 30 H, (27 DC y 33IC)	RTF, EFT y GEFT	prueba de escucha dicodica verbal y musical con escucha independiente lateralizada y memorización de estímulos	prueba Ascombe para transformar datos discretos en lineales, análisis medias, DE y prueba t-student para contraste DC, IC y Total	Pruebas verbales con el oído der muestra una alta diferencia significativa entre el grupo total e IC, los sujetos DC no presenta diferencias significativas. la prueba musical para el grupo total confirma el procesamiento en el HD por sujetos IC, los DC no muestran diferencias

APENDICE 4.

Esquema de diseños factoriales que se implementaran para someter a experimentación de forma exploratoria las hipótesis planteadas en la sección 3.2

A continuación, se representan los diseños factoriales propios de la presente investigación:

1. BxC Diseño factorial 14x5 Electrodo vs Imaginario del habla de vocales

Tabla 1. Organización factores objeto de estudio. BxC Diseño factorial 14x5.

IMF	Sujeto	Vocal a	Vocal e	Vocal i	Vocal o	Vocal u	Media DS
1	1	E1a...E14a	E1e...E14e	E1i...E14i	E1o...E14o	E1u...E14u	
...	...	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	

2. BxD Diseño factorial 14x2 con 6 combinaciones, Electrodo vs Imaginario del habla de vocales abiertas y cerradas

Tabla 2. Organización factores objeto de estudio. BxD Diseño factorial 14x2 imaginario del habla /a/ vs /o/.

IMF	Sujeto	Vocal a	Vocal o	Media DS
1	1	E1a...E14a	E1o...E14o	
...	...	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	

Tabla 3. Organización factores objeto de estudio. BxD Diseño factorial 14x2 imaginario del habla /a/ vs /u/.

IMF	Sujeto	Vocal a	Vocal u	Media DS
1	1	E1a...E14a	E1u...E14u	
...	...	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	

Tabla 16. Organización factores de estudio. BxD Diseño factorial 14x2 imaginario del habla /e/ vs /o/.

IMF	Sujeto	Vocal e	Vocal o	Media DS
1	1	E1e...E14e	E1o...E14o	
...	...	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	

Tabla 5. Organización factores s objeto de estudio. BxD Diseño factorial 14x2 imaginario del habla /e/ vs /u/.

IMF	Sujeto	Vocal e	Vocal u	Media DS
1	1	E1e...E14e	E1u...E14u	
...	...	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	

Tabla 6. Organización factores objeto de estudio. BxD Diseño factorial 14x2 imaginario del habla /i/ vs /o/.

IMF	Sujeto	Vocal i	Vocal o	Media DS
1	1	E1i...E14i	E1o...E14o	
...	...	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	

Tabla 7. Organización factores objeto de estudio. BxD Diseño factorial 14x2 imaginario del habla /i/ vs /u/.

IMF	Sujeto	Vocal i	Vocal u	Media DS
1	1	E1i...E14i	E1u...E14u	
...	...	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	

3. AxBxC Diseño factorial 3x14x5. Estilo cognitivo en la dimensión DIC vs Electrodo vs Imaginario del habla de vocales

Tabla 17. Organización factores objeto de estudio. AxBxC Diseño factorial 3x14x5.

IMF	Sujeto	EC	Vocal a	Vocal e	Vocal i	Vocal o	Vocal u	Media DS
			E1a...E14a	E1e...E14e	E1i...E14i	E1o...E14o	E1u...E14u	
1	<i>n</i>	Dc	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	
1	<i>n</i>	In	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	
1...	<i>n...</i>	Id	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	

4. AxBxD Diseño factorial 3x14x2 para 6 combinaciones. Estilo cognitivo en la dimensión DIC vs Electrodo vs Imaginario del habla de vocales abiertas y cerradas

Tabla 9. Organización factores. AxBxC Diseño factorial 3x14x2 imaginario del habla /a/ vs /o/.

IMF	Sujeto	EC	Vocal a	Vocal o	Media DS
			E1a...E14a	E1o...E14o	
1	<i>n</i>	Dc	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	
1	<i>n</i>	In	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	
1...	<i>n...</i>	Id	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	

Tabla 10. Organización factores. AxBxC Diseño factorial 3x14x2 imaginario del habla /a/ vs /u/.

IMF	Sujeto	EC	Vocal a	Vocal u	Media DS
			E1a...E14a	E1u...E14u	
1	<i>n</i>	Dc	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	
1	<i>n</i>	In	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	
1...	<i>n...</i>	Id	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	

Tabla 11. Organización factores. AxBxC Diseño factorial 3x14x2 imaginario del habla /e/ vs /o/.

IMF	Sujeto	EC	Vocal e	Vocal o	Media DS
			E1e...E14e	E1o...E14o	
1	<i>n</i>	Dc	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	
1	<i>n</i>	In	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	
1...	<i>n...</i>	Id	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	

Tabla 12. Organización factores. AxBxC Diseño factorial 3x14x2 imaginario del habla /e/ vs /u/.

IMF	Sujeto	EC	Vocal e	Vocal u	Media DS
			E1e...E14e	E1u...E14u	
1	<i>n</i>	Dc	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	
1	<i>n</i>	In	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	
1...	<i>n...</i>	Id	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	

Tabla 13. Organización factores. AxBxC Diseño factorial 3x14x2 imaginario del habla /i/ vs /o/.

IMF	Sujeto	EC	Vocal i	Vocal o	Media DS
			E1i...E14i	E1o...E14o	
1	<i>n</i>	Dc	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	
1	<i>n</i>	In	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	
1...	<i>n...</i>	Id	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	

Tabla 14. Organización factores. AxBxC Diseño factorial 3x14x2 imaginario del habla /i/ vs /u/.

IMF	Sujeto	EC	Vocal i	Vocal u	Media DS
			E1i...E14i	E1u...E14u	
1	<i>n</i>	Dc	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	
1	<i>n</i>	In	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	
1...	<i>n...</i>	Id	<i>n</i> PSD	<i>n</i> PSD	

APENDICE 5.

Test de Figuras Enmascaradas (EFT, Embedded Figures Test) (versión Lopez y col. 2019)

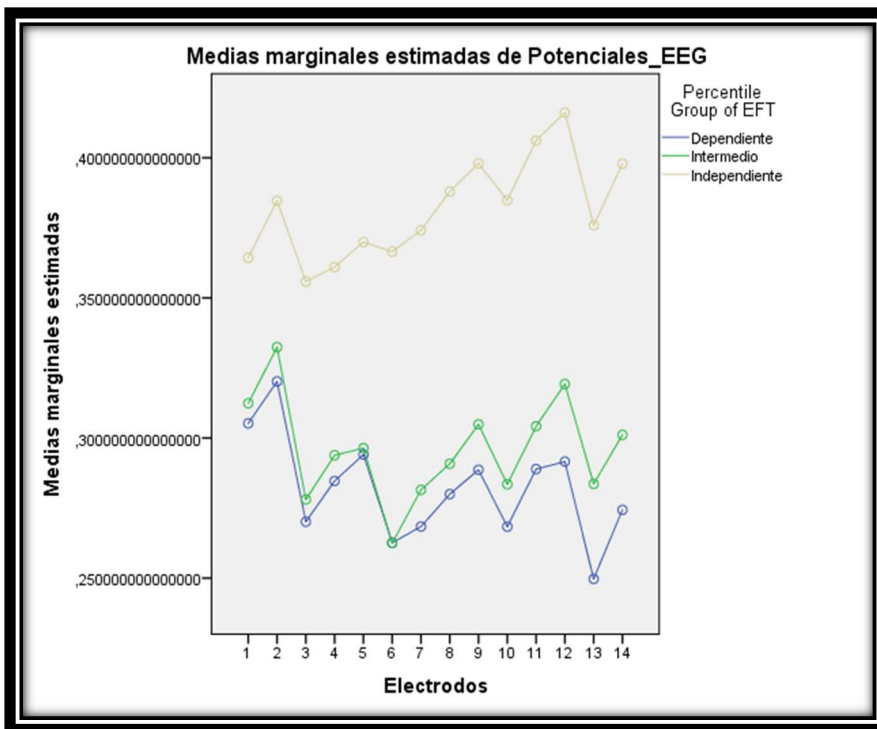


Figura 1. Prueba EFT vs promedio PSD para 14 electrodos diferenciando la respuesta de los estilos cognitivos en la dimensipon DIC. El estilo cognitivo Dc se diferencia significativamente de IntC e IC

Embedded Figures Test - EFT
(Prueba de figuras enmascaradas)

Grupo de Estilos Cognitivos

Integrantes:

Dr. Christian Hederich Martínez
Líder del Grupo. Profesor titular Doctorado Interinstitucional en Educación de la Universidad Pedagógica Nacional.

Dra. Ángela Camargo Uribe
Profesora titular del Departamento de Lenguas de la Universidad Pedagógica Nacional.

Dr. Omar López Vargas
Profesor titular, Departamento de Tecnología de la Universidad Pedagógica Nacional.

Soporte tecnológico
Ing. Nicolás García Doncel

Avanzar

Figura 2. Prueba EFT - página 2 "Créditos de los desarrolladores".

Embedded Figures Test - EFT
(Prueba de figuras enmascaradas)

Nombre:

Número Identificación:

Género Masculino Femenino

Fecha de nacimiento (mm/dd/aaaa) / /


 **Avanzar**

Figura 3. Prueba EFT - Almacenamiento del nombre de quien soluciona la prueba.

Adobe Flash Player 18

Archivo Ver Control Ayuda

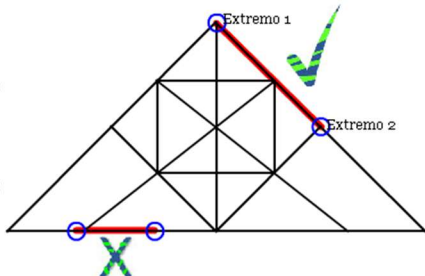
Embedded Figures Test - EFT
(Prueba de figuras enmascaradas)

INSTRUCCIONES

Esta es una prueba para encontrar una forma simple cuando está escondida en otra figura compleja.

Para hacerlo debe trazar líneas rectas con el ratón. Simplemente haga click en uno de los extremos y, con el botón presionado, busque el otro extremo de la recta y suelte el botón. Para trazar otra recta, debe repetir todo el procedimiento. Es importante que cada línea recta sea hecha en un solo trazo, sin completarla en pequeños segmentos.

Para borrar una línea, simplemente ubique el puntero sobre la línea y haga click. Esta desaparecerá inmediatamente.




 **Avanzar**

Figura 4. Prueba EFT - Instrucción de solución parte 1.

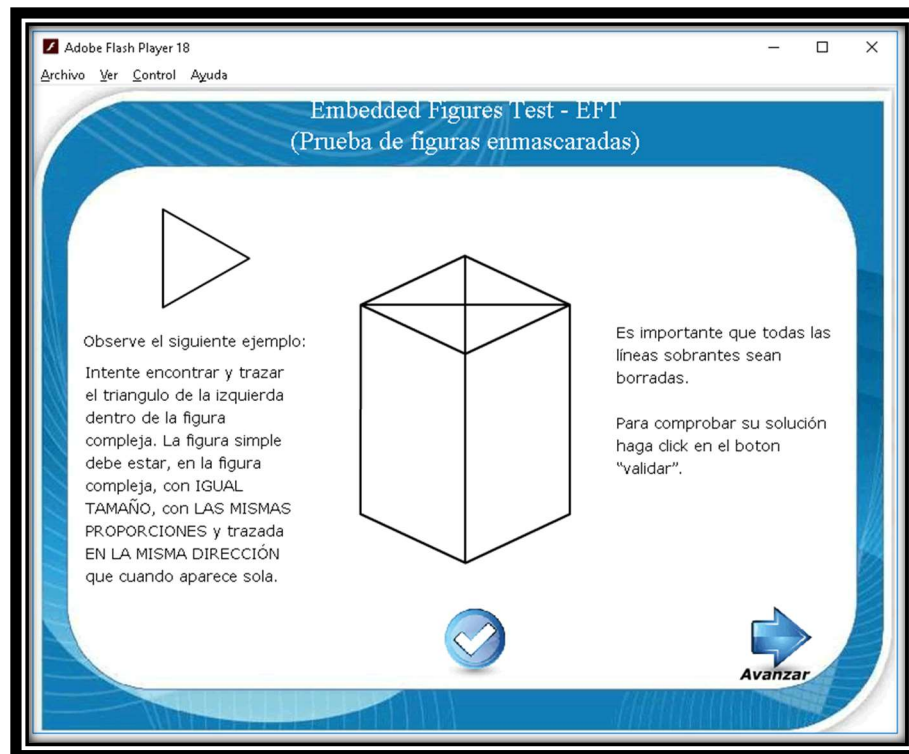


Figura 5. Prueba EFT - Instrucción de solución parte 2.

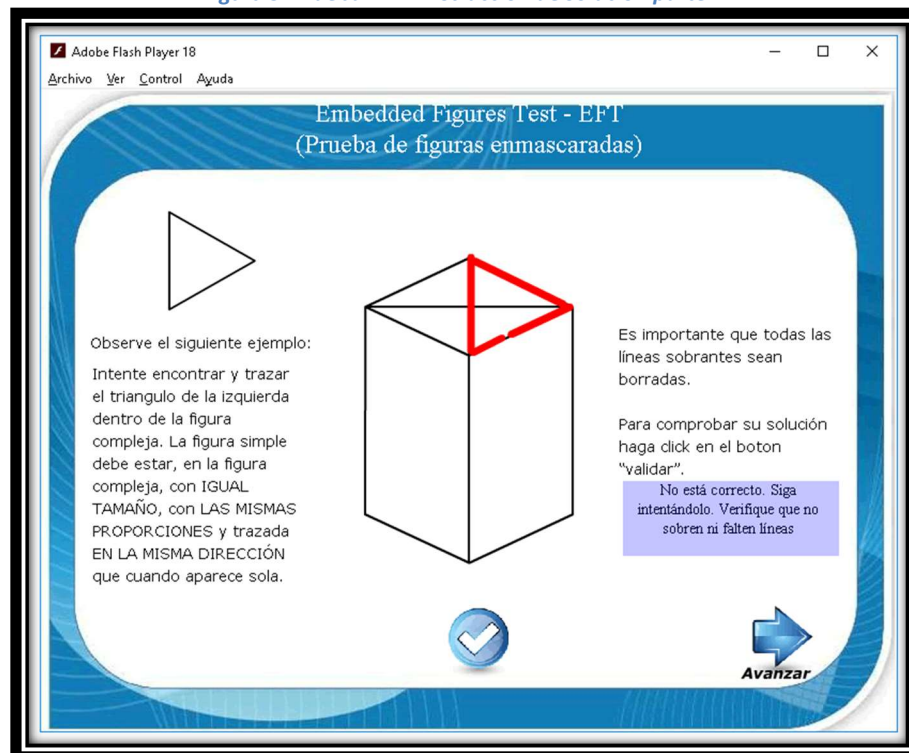


Figura 6. Prueba EFT - Instrucción de solución ejemplo 1 con retroalimentación de forma errónea.

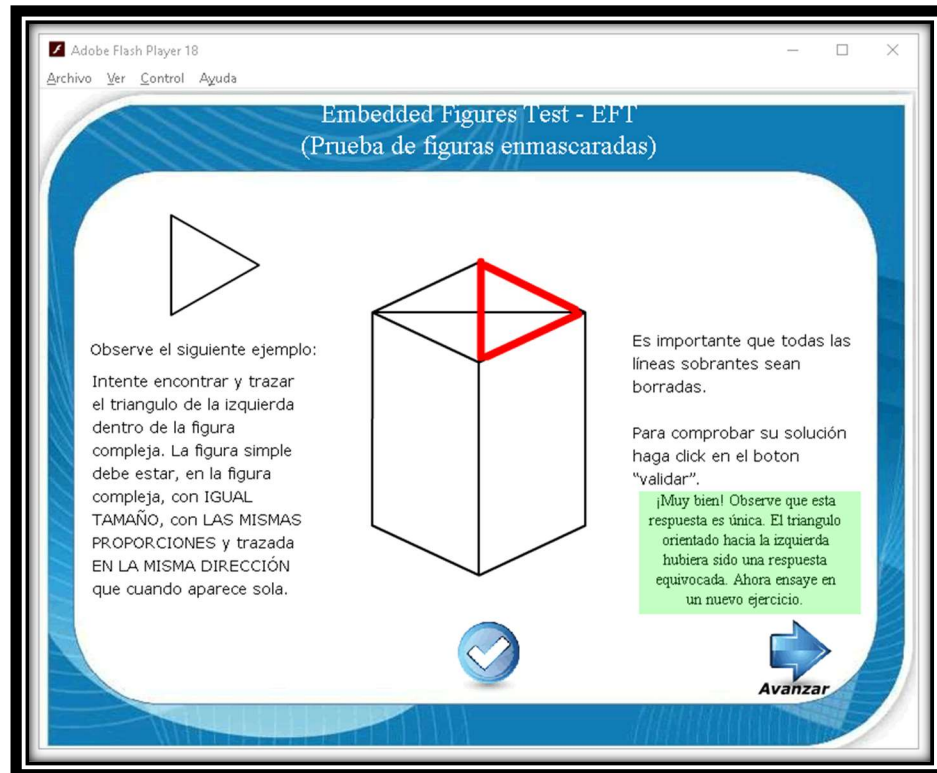


Figura 7. Prueba EFT - Instrucción de solución ejemplo 1 con retroalimentación de formar correcta.

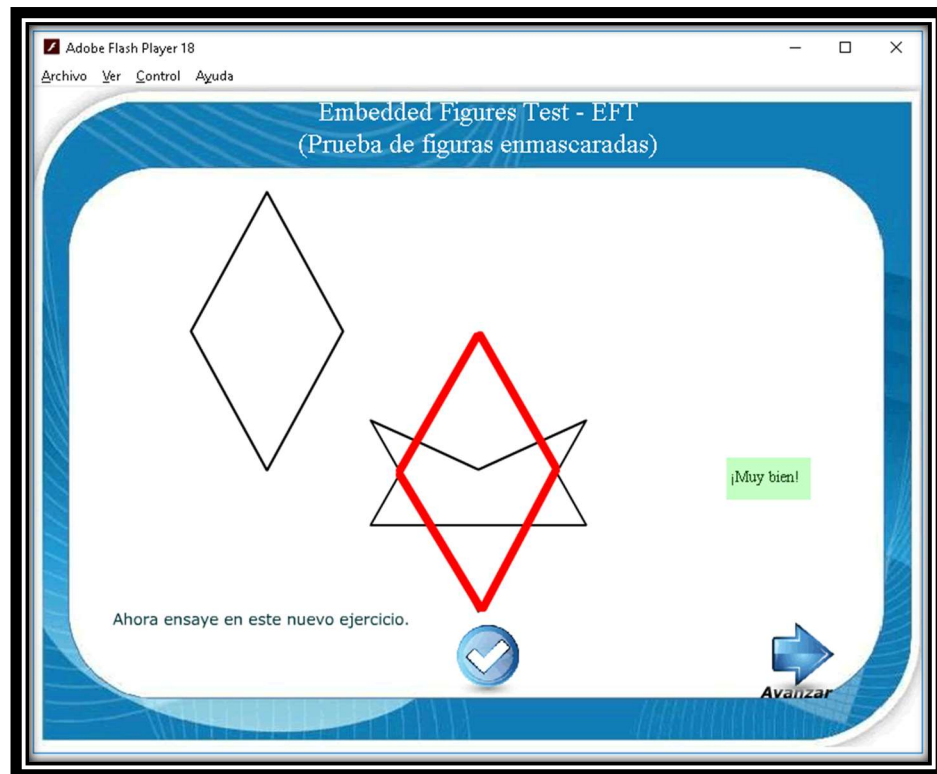


Figura 8. Prueba EFT - Instrucción de solución ejemplo 2.

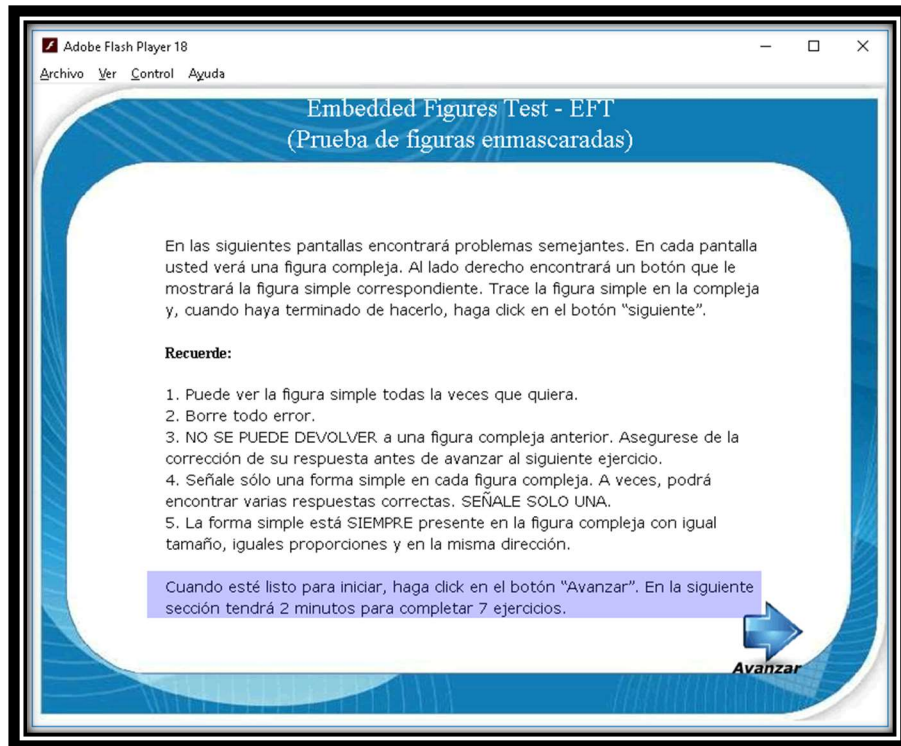


Figura 9. Prueba EFT - últimas recomendaciones.

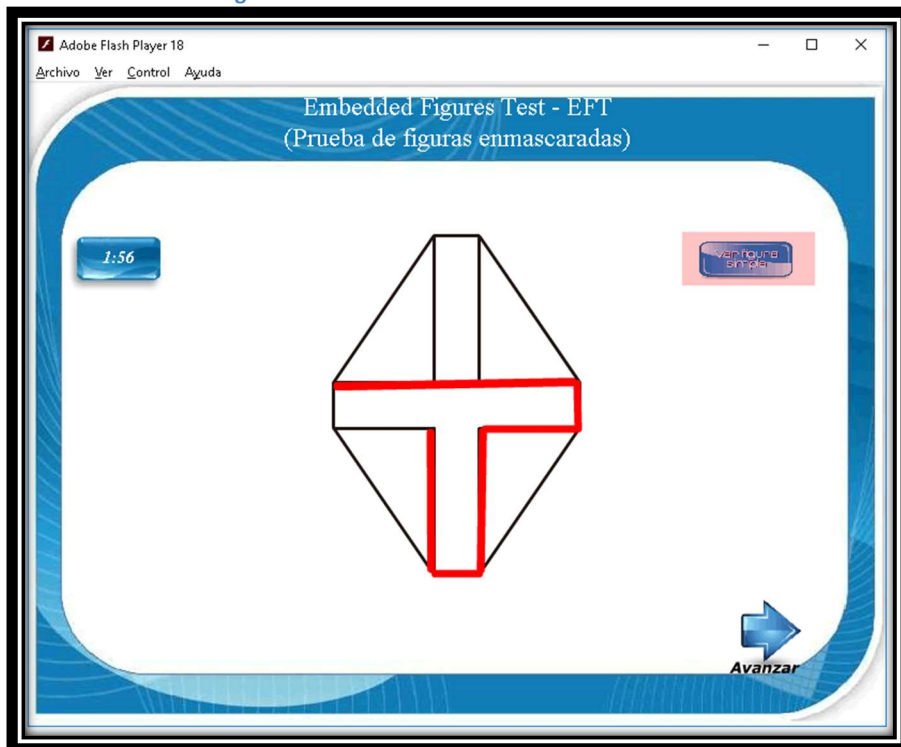


Figura 10. Prueba EFT - ejercicio1.

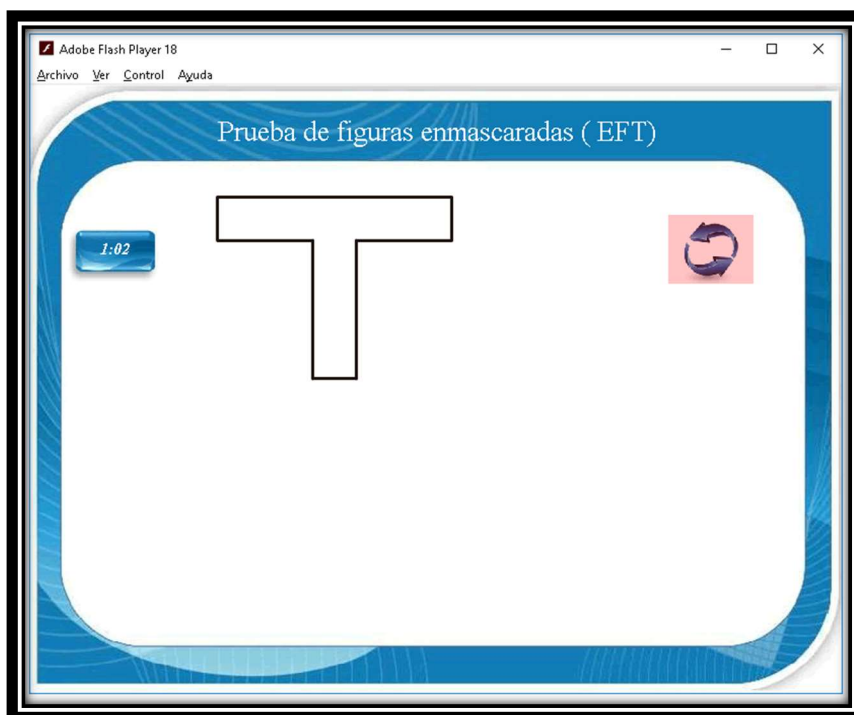


Figura 11. Prueba EFT - ilustración para solucionar ejercicio 1.

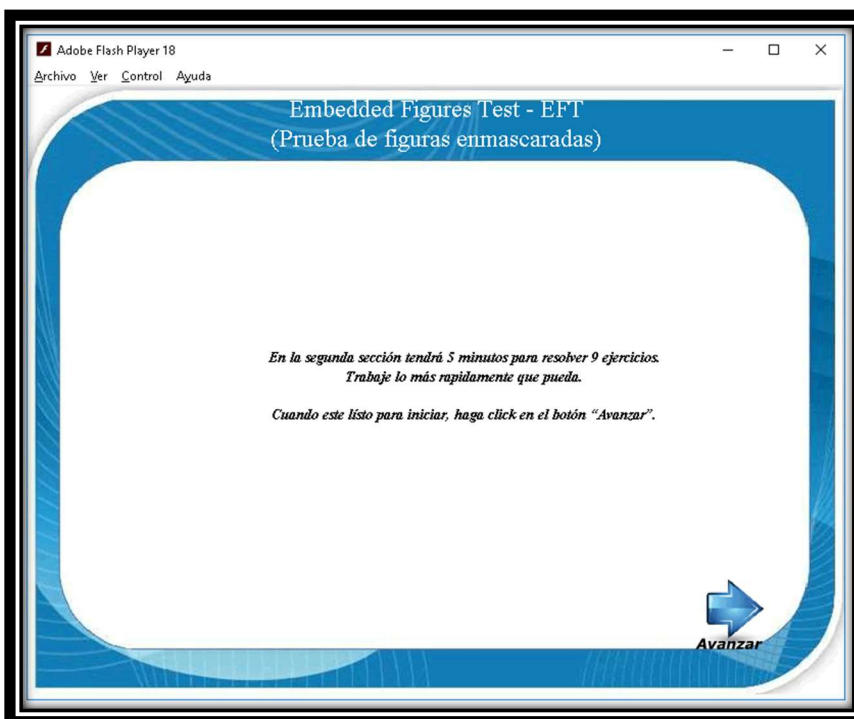


Figura 12. Prueba EFT - indicación segunda fase.

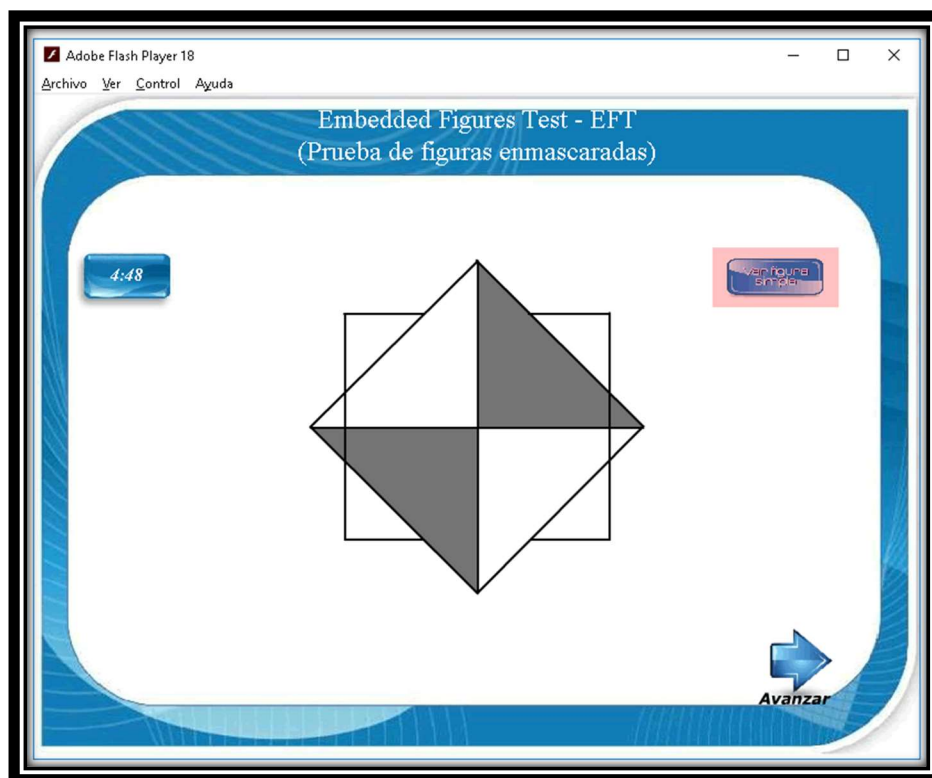


Figura 13. Prueba EFT - ejercicio 1 fase 2.

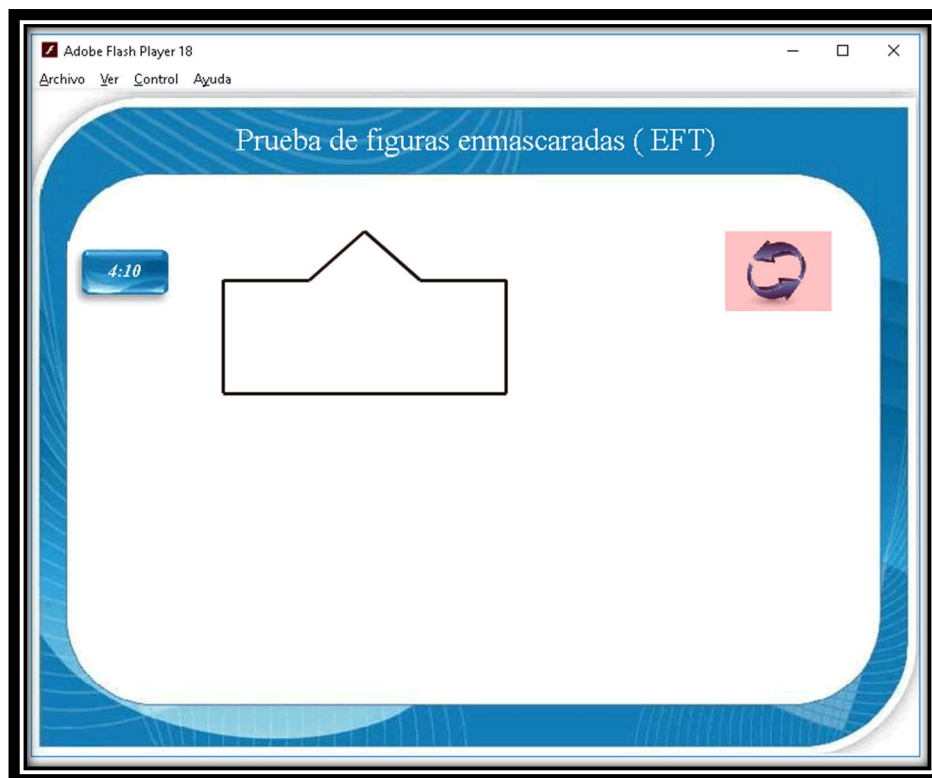


Figura 14. Prueba EFT - ilustración de solución ejercicio 1 fase 2.

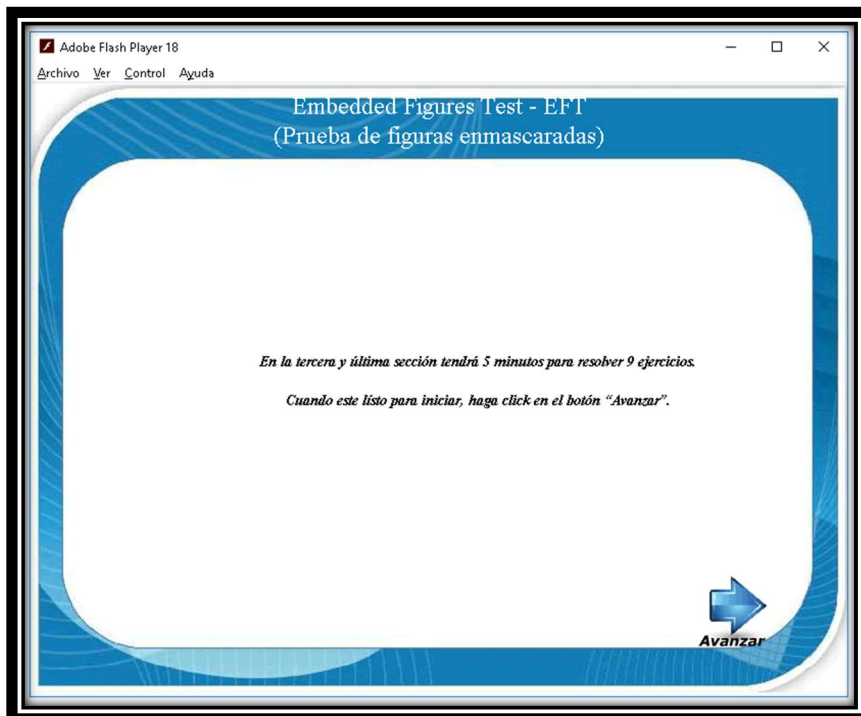


Figura 15. Prueba EFT - fase 3.

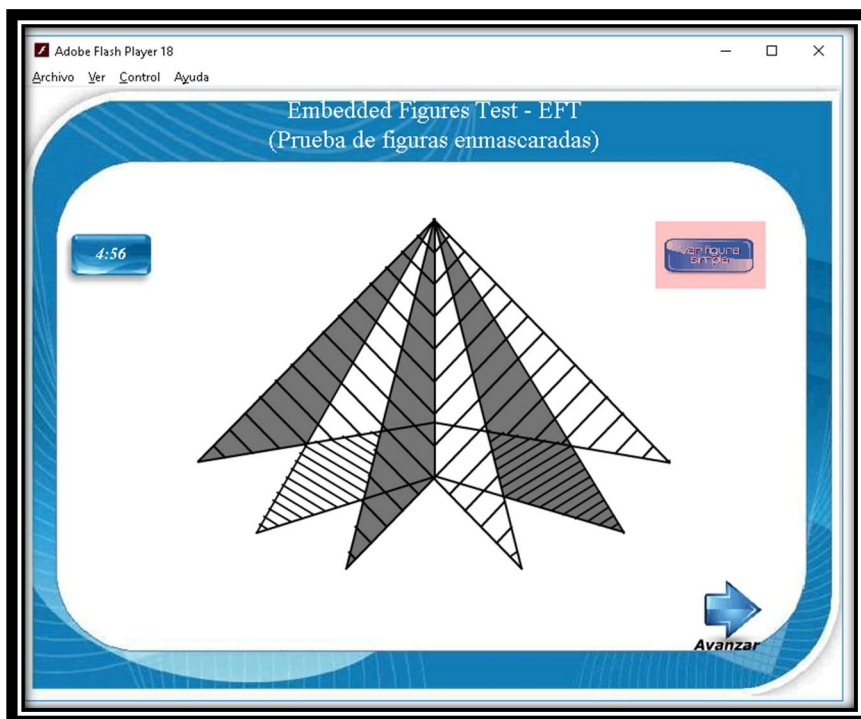


Figura 16. Prueba EFT - ejercicio 1 fase 3.

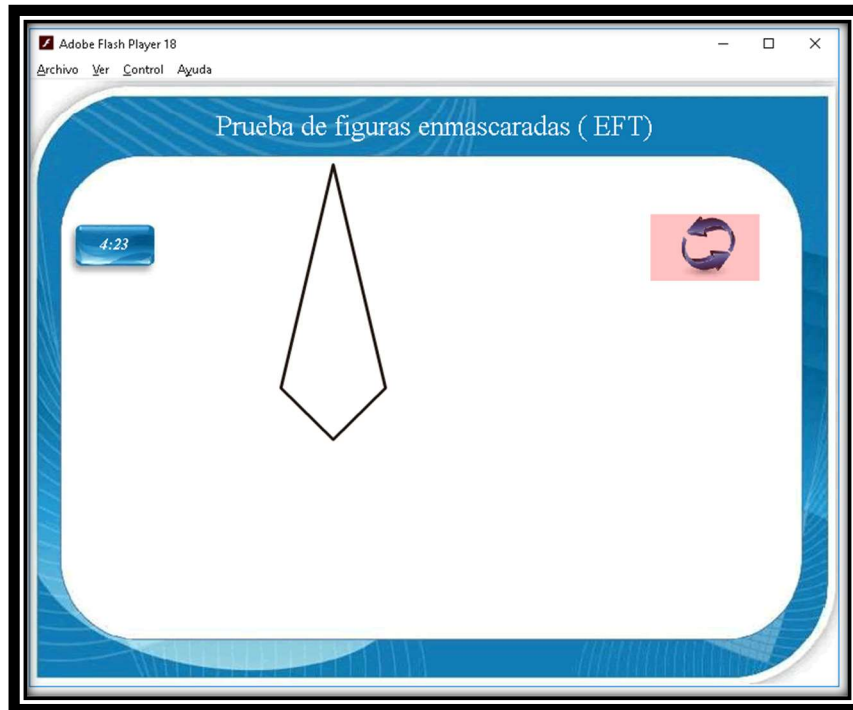


Figura 17. Prueba EFT - ilustración de solución ejercicio 1 fase3.

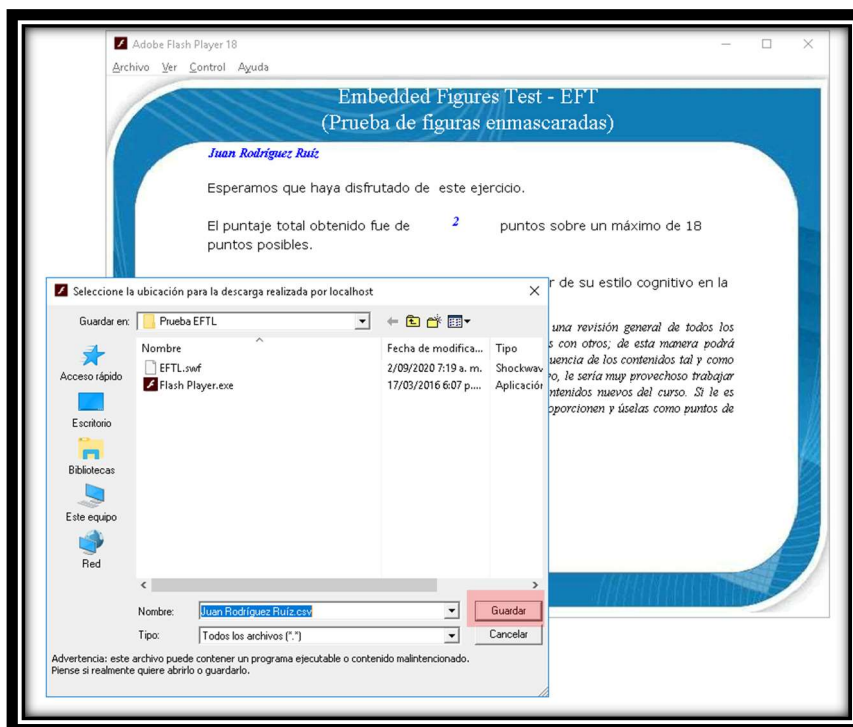


Figura 18. Prueba EFT - guardar resultados.

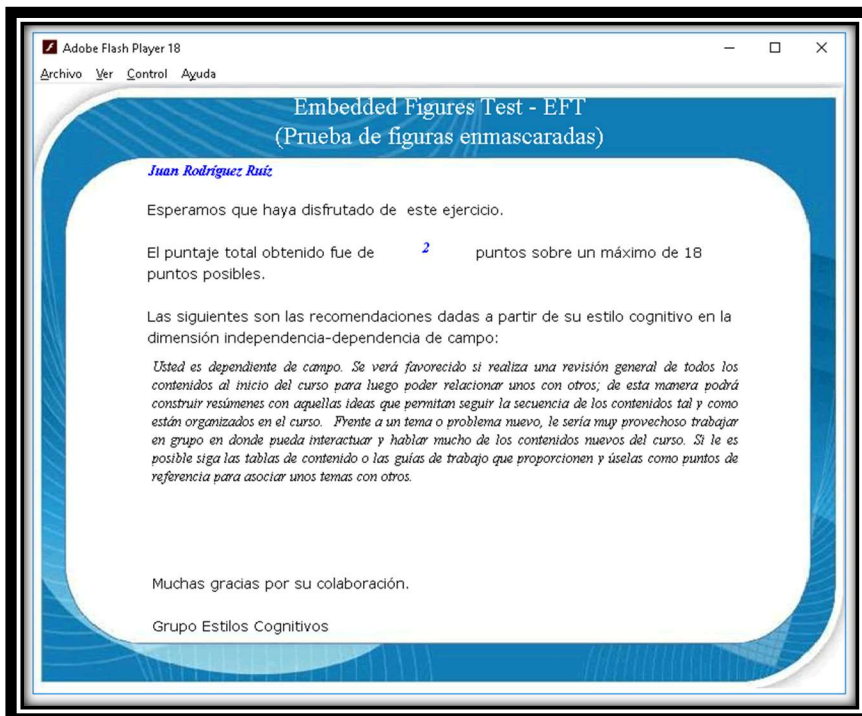


Figura 19. Prueba EFT - Resultados en pantalla.

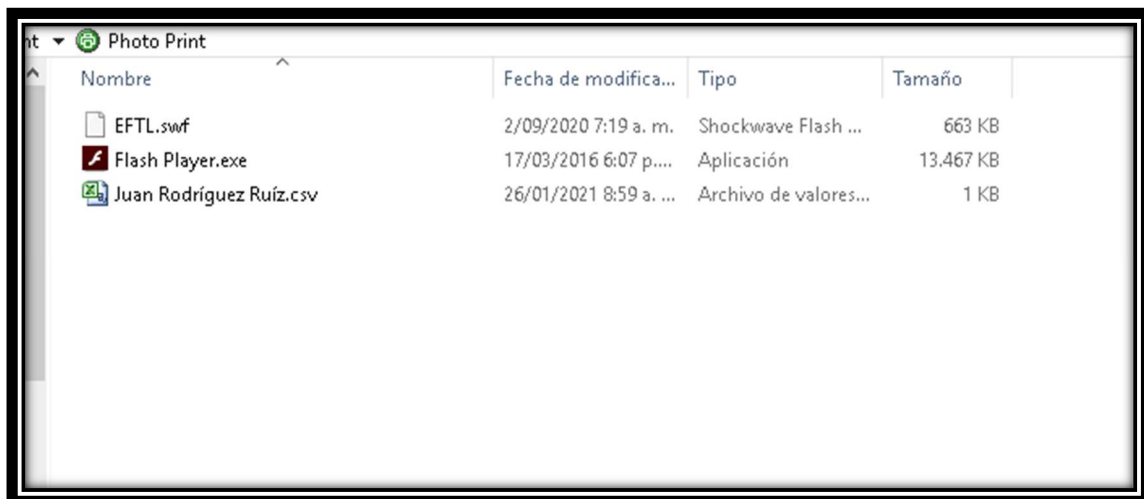


Figura 20. Evidencia almacenamiento de resultados en formato (.csv).

The screenshot displays a web interface for a course titled "1104 Bachillerato". The main navigation includes "Instrucciones" and "Trabajo de los alumnos". A top bar contains an "Enviar" button, an envelope icon, and a "Sin evaluar" dropdown menu. On the left, a sidebar lists "Todos los alumnos" and "Tareas entregadas". The main content area shows a detailed view for "Ariño Camelo Camilo Andrés", indicating a "Tarea entregada (Ver historial)". Below this, two submission items are visible: "CAMILO ARIÑO.xls" (Excel) and "test.png" (Imagen). At the bottom, there is a text input field for "Añade un comentario privado..." with a send button.

Figura 1. Evidencia de cargado de resultados

APENDICE 6.

Descripción de la base de datos de señales EEG obtenidas del imaginario de vocales a partir de 14 electrodos ubicados en el hemisferio izquierdo de 70 sujetos hispanohablantes.

BASE DE DATOS EEG DESARROLLADA PARA IMAGINARIA DE VOCALES CON 14 CANALES EN EL HI

Descripción: Esta base de datos contiene los registros de EEG durante la imaginación de la pronunciación de vocales. La muestra esta conformada por 70 voluntarios colombianos hispanohablantes de entre 17 y 49 años de edad (\bar{X} =24.6; DE= 7.81) de los cuales 27 eran de género femenino (\bar{X} =23.25; DE=6.51) y 43 del género masculino (\bar{X} =25.43; DE= 8.48)(se debe tener en cuenta el sujeto 17 considerado un outlier por lo que fue eliminado de la base de datos desde un inicio). El objetivo de la base de datos es permitir la accesibilidad de registros de EEG durante el habla imaginada para la realización de futuras investigaciones tendientes a desarrollar dispositivos BCI, clasificadores para monitoreo en salud ó reconocimiento psicométrico de estilos cognitivos entre otros.

Protocolo de adquisición: El protocolo consistió en la presentación de un estímulo visual tipo led que indicaba el inicio de la tarea, la cual consistía en repetir 25 veces las vocales /a/, /e/, /i/, /o/, /u/. con los ojos cerrados, una vez finalizada las 25 repeticiones de la vocal /a/ se dejaba un receso de 5 minutos y se continuaba con la siguiente hasta llegar a la vocal /u/. La adquisición contaba con un ambiente con condiciones controladas de luminosidad de 80 lm/m². y mínimo ruido ambiental (ASTM STC 63).

Instrumentación empleada para la adquisición de señales EEG: El sistema de adquisición contó con un EEG *neuroheadset* EMOTIV modificado por los autores incluyendo una extensión de cable de 30 cm para cada electrodo con su respectiva copa de Oro (Au) de 10 mm, junto con un plug adaptador impreso en 3D. La configuración de 14 electrodos se ubicó en el cuero cabelludo sobre la interfaz sensoriomotora y su conexión con la red articularia del hemisferio izquierdo de acuerdo al modelo descrito por Gregory Hickok y David Poeppel (2007) y el mapeo propuesto por Bouchard & Chang, (2014) referenciando las posiciones T3 y C3 de acuerdo al sistema 10-20 sobre el hemisferio izquierdo. Se utilizó una resolución de 14 bits con 1 LSB de 0.51 μ V en configuración monopolar empleando una frecuencia de muestreo de 128 Hz. Para la exportación de los datos en Simulink de Matlab se utilizó el software de adquisición EpcSimulinkImporter de la empresa *Xcessity*. El procesamiento de las señales cerebrales se realizó con el software Matlab R2020b. Posteriormente, los datos se exportaron al software SPSS (del inglés *Statistical Package for the Social Science* Versión 25)

Características: La base de datos es el producto del procesamiento de señales EEG de habla imaginada de vocales realizado en MATLAB al emplear el algoritmo APIT-MEMD y el PSD obteniendo un total de 10 IMF con los PSD ponderados para 70 sujetos exportados en el software SPSS, cada uno de los IMF en archivos independientes.

Cada una de las 10 carpeta contiene por IMF 8 archivos con extensión .sav organizados así:

1. Archivo IMF n base.sav
2. Archivo IMF n base - Total.sav
3. Archivo IMF n base - AO.sav
4. Archivo IMF n base - AU.sav
5. Archivo IMF n base - EO.sav
6. Archivo IMF n base - EU.sav

7. Archivo IMF*n*base - IO.sav

8. Archivo IMF*n*base - IU.sav

Los archivos contienen etiquetas que indican la organización de los datos de la siguiente manera:

- El número del IMF
- El ID o identificador para cada sujeto
- La tarea cognitiva de imaginación del habla de vocales por electrodo nominados así:
E1a, E2a...E14a; E1e, E2e...E14e; E1i, E2i...E14i; E1o, E2o...E14o;
E1u, E2u...E14u.
- El EFT o puntaje del estilo cognitivo en la dimensión DIC
- El NEFT o categorización en los estilos cognitivos IC, IntC o DC.
- Finalmente Edad y Género (1=Femenino y 2=Masculino)

Para cada muestra se segmentaron 4 segundos de duración por época (ejecución del imaginario de vocales en un evento) lo que correspondía a 511 muestras. Un sujeto para la ejecución de una sola vocal con 25 repeticiones representó un total de 12.775 muestras, es decir que, para las 5 vocales fueron 63.875 datos. Esto corresponde a un total de 4.471.250 datos en bruto procesados para 70 individuos con el algoritmo APIT-MEMD y PSD, por tanto, el producto de dicho preprocesamiento conllevó a la obtención del gran promedio para cada sujeto*electrodo*tarea (habla imaginada de vocales), es decir un sujeto tendría por IMF 14 grandes promedios por electrodo, por tanto, para 5 vocales se tendrían 70 datos, lo que correspondería a 700 datos localizados en el archivo IMF*n*base.sav para 70 individuos. Por tanto, para 10 IMF se tendría una base de datos de 49.000 muestras exportadas en SPSS con la extensión .sav sin incluir la información del EFT, NEFT, edad y género, de conformidad con la base de datos conformada en la presente investigación.

APENDICE 7.

Reporte de resultados obtenidos de IMFs con diferencias significativas identificadas de acuerdo al análisis mixto de medidas repetidas multivariante con SPSS

4.3.1. Reporte de resultados IMF 1 /a/, /o/

El promedio de la prueba EFT de la muestra fue de 10.59; la desviación estándar (DE=3.79). Sobre un puntaje máximo de 18; el valor mínimo fue de 1 y el valor máximo de 18 puntos. Los sujetos fueron agrupados en Dependientes de Campo (DC), intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC), definiendo terciles para el puntaje total en la prueba. De esta forma, se identificaron tres rangos de puntajes a saber: (a) 15 sujetos DC (primer tercil), (b) 19 sujetos IntC (segundo tercil), y (c) 12 sujetos IC (tercer tercil). Se excluyeron un total de 24 sujetos de los cuales 14 se reconocieron como casos atípicos (30,19,32,37,27,22,29,20,69,21,24,50,26,55) y 10 por no incluirse en ningún tercil (48,54,35,53,4,16,57,60,65,67) (ver tabla 1 y 2).

Tabla 18. Factores inter-sujetos con la distribución de sujetos por estilo cognitivo en la dimensión DIC y sus respectivas Medias y Desviaciones Estándar (DS) ponderadas para la relación vocal abierta y cerrada /a/ y /o/ correspondiente al IMF 1.

Factores inter-sujetos	Etiqueta de valor	N	/a/			/o/			
			EFT	PROM	DS	EFT	PROM	DS	
Agrupación por percentil EFT	1	Dependiente (DC)	15	DC	0,27	0,15	DC	0,78	1,88
	2	Intermedio (IntC)	19	IntC	0,32	0,19	IntC	0,31	0,14
	3	Independiente (IC)	12	IC	0,48	0,37	IC	1,25	3,17
			Total	0,34	0,25	Total	0,71	1,92	

Tabla 2. Resultados de PSD del imaginario del habla de las vocales/a/ y /o/ en cada electrodo para el IMF 1 y su distribución de la media y desviación estándar de acuerdo al estilo cognitivo Dependiente de Campo DC, Intermedio IntC e Independiente de Campo IC.

/a/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,30	0,21	0,31	0,19	0,27	0,16	0,28	0,16	0,28	0,16	0,26	0,15	0,26	0,15	0,27	0,14	0,27	0,14	0,26	0,14	0,27	0,14	0,27	0,13	0,23	0,11	0,26	0,10
IntC	0,34	0,18	0,35	0,18	0,29	0,16	0,31	0,16	0,31	0,17	0,28	0,16	0,30	0,18	0,32	0,21	0,33	0,21	0,31	0,19	0,33	0,22	0,34	0,21	0,31	0,22	0,33	0,23
IC	0,46	0,26	0,62	0,63	0,43	0,28	0,44	0,28	0,47	0,32	0,45	0,37	0,46	0,36	0,49	0,37	0,50	0,40	0,47	0,39	0,50	0,39	0,51	0,39	0,46	0,39	0,48	0,39
Total	0,36	0,22	0,41	0,37	0,32	0,21	0,33	0,21	0,34	0,23	0,32	0,24	0,33	0,24	0,34	0,26	0,35	0,27	0,34	0,25	0,36	0,26	0,36	0,26	0,32	0,26	0,35	0,26

/o/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,79	1,84	0,79	1,75	0,76	1,84	0,74	1,71	0,78	1,85	0,75	1,83	0,77	1,88	0,77	1,89	0,81	2,01	0,75	1,83	0,80	1,95	0,81	1,95	0,76	1,92	0,81	2,04
IntC	0,37	0,29	0,37	0,23	0,30	0,15	0,33	0,16	0,32	0,16	0,27	0,11	0,28	0,10	0,28	0,11	0,31	0,13	0,28	0,10	0,30	0,11	0,32	0,12	0,27	0,11	0,30	0,11
IC	1,23	3,18	1,22	3,03	1,24	3,20	1,17	2,94	1,26	3,26	1,25	3,24	1,26	3,26	1,20	2,99	1,27	3,23	1,19	2,99	1,29	3,23	1,32	3,29	1,26	3,25	1,28	3,23
Total	0,73	1,92	0,73	1,83	0,69	1,93	0,68	1,77	0,72	1,95	0,68	1,94	0,70	1,96	0,68	1,85	0,72	1,99	0,67	1,83	0,72	1,97	0,74	2,00	0,69	1,97	0,72	2,00

La prueba de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad fue violado. Los datos muestran que el efecto principal de los PSD en los electrodos es: $(X(90) = 1151.966, p < 0.05)$ y en la interacción vocales*electrodos es: $(X(90) = 1266.588, p < 0.05)$. Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = 0.19$ y 0.21 respectivamente). Las pruebas multivariantes indican que existen diferencias significativas en electrodos [Traza de Pillai = 0.921, $F(13,31) = 27.982, p < 0.001, \eta^2 = 0.921$] y los PSD de la interacción doble vocales*electrodos [Traza de Pillai = 0.518, $F(13,31) = 2.566, p = 0.016, \eta^2 = 0.518$]. Sin embargo, no existe diferencias significativas entre vocales de forma independiente, lo que sugiere que los PSD registrados en la interacción con los 14 electrodos y las vocales del imaginario del habla /a/, /o/ manifiestan diferencias en la distribución espacial pero no se diferencian entre sí como vocales (ver figura 1).

Las pruebas de efectos intra-sujetos no presenta diferencias significativas en las vocales /a/, /o/. Sin embargo, muestra diferencias significativas para electrodos con un $F(2.437, 104.809) = 3.433, p = 0.028, \eta^2 = 0.074$. De igual forma, la interacción vocales*electrodo también muestra diferencias significativas $F(2.675, 115.009) = 1.366, p = 0.258, \eta^2 = 0,031$ (ver figura 1).

Las pruebas de contraste intra-sujetos para la variable vocales /a/ y /o/ no presenta diferencias significativas. La variable Electrodo, se presentan diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 2 vs. NIVEL 3) el promedio de los PSD generados en el electrodo 2 ($M = 0.61$) con el PSD del electrodo 3 ($M = 0.59$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 5.516$, $p = 0.024$, $\eta^2 = 0.114$. El segundo contraste (NIVEL 4 vs. NIVEL 5) muestra un promedio de PSD en el electrodo 4 ($M = 0.54$) con el PSD del electrodo 5 ($M = 0.57$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 4.535$, $p < 0.039$, $\eta^2 = 0.095$. El tercer contraste (NIVEL 5 vs. NIVEL 6) señala un promedio de PSD en el electrodo 5 ($M = 0.57$) con el PSD del electrodo 6 ($M = 0.54$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 10.324$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.194$. Un cuarto contraste (NIVEL 6 vs. NIVEL 7) señala un promedio de PSD en el electrodo 6 ($M = 0.54$) con el PSD del electrodo 7 ($M = 0.56$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 6.529$, $p = 0.014$, $\eta^2 = 0.132$. El quinto contraste (NIVEL 8 vs. NIVEL 9) señala un promedio de PSD en el electrodo 8 ($M = 0.55$) con el PSD del electrodo 9 ($M = 0.58$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 7.079$, $p = 0.011$, $\eta^2 = 0.139$. El sexto contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señala un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.58$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.54$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 8.328$, $p = 0.006$, $\eta^2 = 0.162$. El séptimo contraste (NIVEL 10 vs. NIVEL 11) señala un promedio de PSD en el electrodo 10 ($M = 0.54$) con el PSD del electrodo 11 ($M = 0.58$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 12.013$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.218$. El octavo contraste (NIVEL 11 vs. NIVEL 12) señala un promedio de PSD en el electrodo 11 ($M = 0.58$) con el PSD del electrodo 12 ($M = 0.59$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 18.030$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.295$. El noveno contraste (NIVEL 12 vs. NIVEL 13) señala un promedio de PSD en el electrodo 12 ($M = 0.59$) con el PSD del electrodo 13 ($M = 0.55$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 112.233$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.223$. El décimo contraste (NIVEL 13 vs. NIVEL 14) señala un promedio de PSD en el electrodo 13 ($M = 0.55$) con el PSD del electrodo 14 ($M = 0.57$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 19.994$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.317$. Con relación a la interacción vocales*electrodos no se evidenciaron diferencias significativas.

Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los PSD de las vocales /a/ y /o/. Por otro lado, si existen diferencias significativas entre los electrodos: (i) El E3 ($M = 0.55$) es significativamente menor que el E1 ($M = 0.58$), (ii) el E11 ($M = 0.58$), es significativamente mayor que el E6 ($M = 0.54$), E7 ($M = 0.56$) y E13 ($M = 0.55$). (iii) el E12 ($M = 0.59$), es significativamente mayor que E3 ($M = 0.58$), E6 ($M = 0.54$), E7 ($M = 0.56$), E10 ($M = 0.54$), E11 ($M = 0.58$) y E13 ($M = 0.55$). Finalmente (iv) el E13 ($M = 0.55$), es significativamente menor que el E9 ($M = 0.58$) y E14 ($M = 0.57$) (ver figura 1).

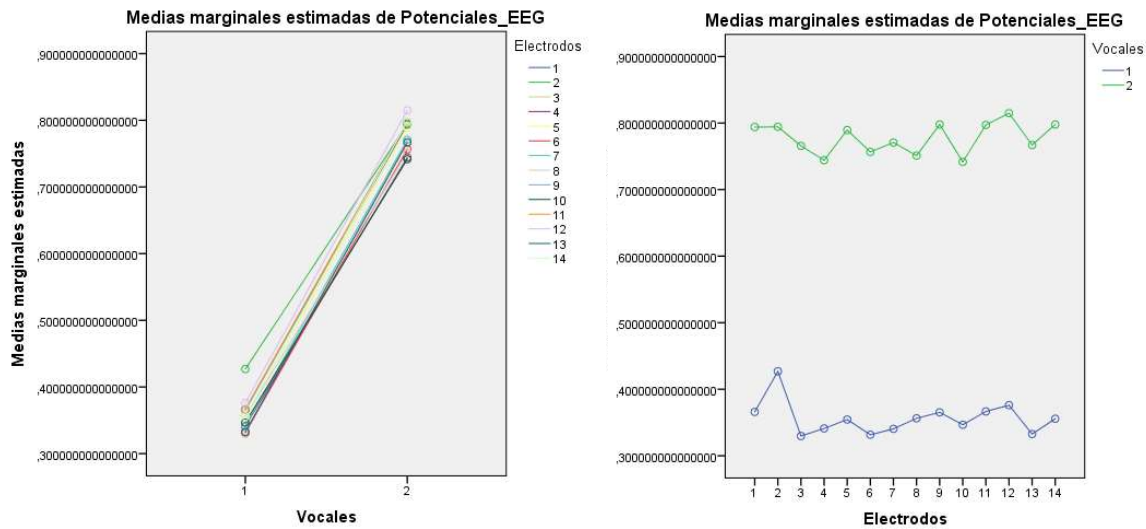


Figura 1. Gráficas de resultados IMF1 comparando el comportamiento de las vocales /a/ (1) y /o/(2) en relación a los electrodos. A la izquierda y derecha se observa una aparente diferencia significativa según las pruebas multivariantes, sin embargo en las pruebas de efectos iter-sujetos solo evidencia variación en los electrodos.

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que no existen diferencias significativas del imaginario del habla de vocales en los PSD generados en los diferentes electrodos debido al estilo cognitivo de los sujetos. $F(2,43) = 1.205$, $p = 0.310$, $\eta^2 = 0,053$.

A manera de conclusión en relación al IMF1 y las vocales /a/, /o/, se resalta la actividad de los electrodos E12 y E9 sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v. Por otro lado, los electrodos E11 y E14 manifestaron actividad diferencial sobre las áreas de Broadman BR 3,4 correspondientes al córtex somatosensorial primario y córtex motor respectivamente. Según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2007) los electrodos E12, E9, E11 y E14 se encuentran sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensoriomotora y la vía del córtex premotor dorsal (PMd) al límite del surco central en la fisura de Rolando (ver figura 2).

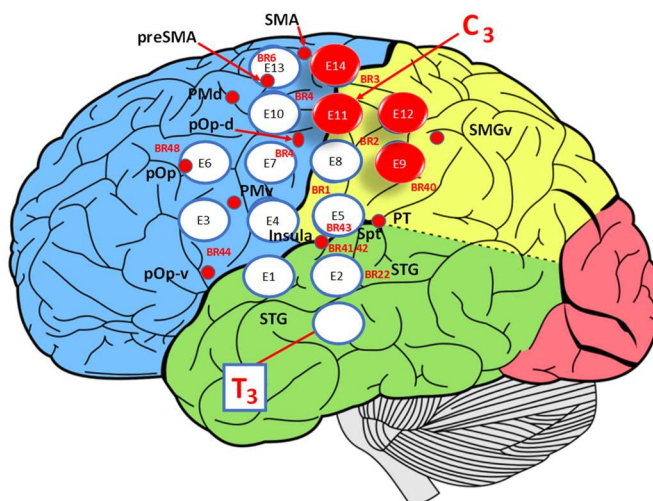


Figura 2. Gráfico indicando la configuración espacial de los electrodos 1 al 14 sobre el hemisferio Izquierdo (HI) en relación al IMF1 para las vocales /a/, /o/, en rojo de mayor a menor diferencias significativas los electrodos E12 y E9 (giro supramarginal ventral SMG-v, broadman BR 2,40 córtex somatosensorial asociativo). E11 y E14 (Broadman BR 3,4 córtex somatosensorial primario y córtex motor respectivamente).

4.3.2. Reporte de resultados IMF 1 /a/, /u/

El promedio de la prueba EFT de la muestra fue de 10.38; la desviación estándar (DE=3.72). Sobre un puntaje máximo de 18; el valor mínimo fue de 1 y el valor máximo de 18 puntos. Los sujetos fueron agrupados en Dependientes de Campo (DC), intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC), definiendo terciles para el puntaje total en la prueba. De esta forma se identificaron tres rangos de puntajes a saber: (a) 17 sujetos DC (primer tercil), (b) 19 sujetos IntC (segundo tercil), y (c) 11 sujetos IC (tercer tercil). Se excluyeron un total de 23 sujetos de los cuales 15 se reconocieron como casos atípicos (1,16,19,20,21,22,26,27,30,32,37,50,55,60,69) y 8 por no incluirse en ningún tercil (4,35,48,53,54,57,65,67) (ver tabla 3 y 4).

Tabla 3. Factores inter-sujetos con la distribución de sujetos por estilo cognitivo en la dimensión DIC y sus respectivas Medias y Desviaciones Estándar (DS) ponderadas para la relación vocal abierta y cerrada /a/ y /u/ correspondiente al IMF 1..

Factores inter-sujetos	Etiqueta de valor	N	/a/		/u/			
			EFT	PROM	EFT	PROM		
Agrupación por percentil EFT	1	Dependiente (DC)	17					
	2	Intermedio (IntC)	19					
	3	Independiente (IC)	11					
			DC	0,30	0,17	DC	0,27	0,13
			IntC	0,32	0,19	IntC	0,27	0,12
			IC	0,46	0,36	IC	0,31	0,21
			Total	0,34	0,24	Total	0,28	0,14

La prueba de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad fue violado. Los datos muestran que el efecto principal de los PSD en los electrodos es: $(X^2(90) = 938.268, p < 0.05)$. Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = 0.16$). Las pruebas multivariantes indican que existen diferencias significativas en el imaginario del habla de las vocales /a/ y /u/ [Traza de Pillai = 0.108, $F(1,44) = 5.302, p = 0.026, \eta^2 = 0.108$] y los PSD de los electrodos [Traza de Pillai = 0.859, $F(13,32) = 15.002, p < 0.001, \eta^2 = 0.859$], se incluye una interacción doble significativa entre vocales y electrodos [Traza de Pillai = 0.478, $F(13,32) = 2.254, p = 0.031, \eta^2 = 0.478$]. Sin embargo, no existe interacciones dobles significativa entre las variables intra-sujetos

e inter-sujetos, lo que sugiere que los PSD registrados en los 14 electrodos depende del imaginario del habla de las vocales (ver figura 19).

Tabla 419. Resultados de PSD del imaginario del habla de las vocales/a/ y /u/ en cada electrodo para el IMF 1 y su distribución de la media y desviación estándar de acuerdo al estilo cognitivo Dependiente de Campo DC, Intermedio IntC e Independiente de Campo IC.

/a/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,33	0,22	0,34	0,21	0,28	0,16	0,30	0,17	0,31	0,18	0,28	0,16	0,29	0,16	0,30	0,17	0,30	0,17	0,28	0,15	0,30	0,16	0,30	0,16	0,26	0,14	0,28	0,14
IntC	0,34	0,18	0,35	0,18	0,29	0,16	0,31	0,16	0,31	0,17	0,28	0,16	0,30	0,18	0,32	0,21	0,33	0,21	0,31	0,19	0,33	0,22	0,34	0,21	0,31	0,22	0,33	0,23
IC	0,43	0,26	0,45	0,26	0,42	0,29	0,42	0,29	0,44	0,31	0,44	0,38	0,45	0,38	0,47	0,39	0,48	0,41	0,46	0,40	0,48	0,40	0,50	0,40	0,45	0,41	0,48	0,40
Total	0,36	0,22	0,37	0,21	0,32	0,20	0,33	0,20	0,34	0,22	0,32	0,23	0,33	0,24	0,35	0,26	0,36	0,27	0,34	0,25	0,36	0,26	0,37	0,26	0,32	0,26	0,35	0,26

/u/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,28	0,13	0,30	0,13	0,26	0,13	0,27	0,13	0,28	0,14	0,24	0,13	0,25	0,12	0,26	0,13	0,27	0,14	0,25	0,12	0,28	0,13	0,28	0,13	0,24	0,11	0,27	0,12
IntC	0,29	0,14	0,31	0,15	0,26	0,12	0,28	0,12	0,28	0,13	0,25	0,10	0,27	0,11	0,27	0,12	0,28	0,14	0,26	0,10	0,28	0,11	0,29	0,13	0,26	0,11	0,27	0,10
IC	0,30	0,20	0,32	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30	0,21	0,29	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,31	0,21	0,31	0,20	0,33	0,21	0,34	0,22	0,30	0,21	0,32	0,21
Total	0,29	0,15	0,31	0,16	0,27	0,14	0,28	0,14	0,29	0,15	0,26	0,14	0,27	0,14	0,27	0,15	0,29	0,16	0,27	0,13	0,29	0,14	0,30	0,15	0,26	0,14	0,28	0,14

Las pruebas de efectos intra-sujetos muestra diferencias significativas para el imaginario del habla de las vocales /a/, /u/ con un $F(1,44) = 5.302$, $p = 0.026$, $\eta^2 = 0.108$. De igual forma, la variable Electrodo también muestra diferencias significativas $F(2.026,89.151) = 6.722$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.133$ (ver figura 3 izq.).

Las pruebas de contraste intra-sujetos para la variable vocales /a/ y /u/ señalan el contraste (NIVEL 1 vs NIVEL 2) con diferencias significativas. Los datos muestran que los valores promedios de los PSD en la vocal /a/ ($M = 0.357$) difieren de los valores promedios de los PSD de la vocal /u/ ($M = 0.283$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 5.302$, $p = 0.026$, $\eta^2 = 0.108$. Para la variable Electrodo, se presentan diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 1 vs. NIVEL 2) el promedio de los PSD generados en el electrodo 1 ($M = 0.33$) con el PSD del electrodo 2 ($M = 0.35$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 22.453$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.338$. El segundo contraste (NIVEL 2 vs. NIVEL 3) muestra un promedio de PSD en el electrodo 2 ($M = 0.35$) con el PSD del electrodo 3 ($M = 0.30$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 30.381$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.408$. El tercer contraste (NIVEL 3 vs. NIVEL 4) señala un promedio de PSD en el electrodo 3 ($M = 0.30$) con el PSD del electrodo 4 ($M = 0.31$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 11.833$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.212$. Un cuarto contraste (NIVEL 5 vs. NIVEL 6) señala un promedio de PSD en el electrodo 5 ($M = 0.32$) con el PSD del electrodo 6 ($M = 0.30$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 13.634$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.237$. El quinto contraste (NIVEL 6 vs. NIVEL 7) señala un promedio de PSD en el electrodo 6 ($M = 0.30$) con el PSD del electrodo 7 ($M = 0.31$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 7.079$, $p = 0.011$, $\eta^2 = 0.139$. El sexto contraste (NIVEL 7 vs. NIVEL 8) señala un promedio de PSD en el electrodo 7 ($M = 0.31$) con el PSD del electrodo 8 ($M = 0.32$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 5.224$, $p = 0.027$, $\eta^2 = 0.106$. El séptimo contraste (NIVEL 8 vs. NIVEL 9) señala un promedio de PSD en el electrodo 8 ($M = 0.32$) con el PSD del electrodo 9 ($M = 0.33$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 14.411$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.247$. El octavo contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señala un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.33$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.31$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 11.170$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.202$. El noveno contraste (NIVEL 10 vs. NIVEL 11) señala un promedio de PSD en el electrodo 10 ($M = 0.31$) con el PSD del electrodo 11 ($M = 0.33$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 40.222$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.478$. El décimo contraste (NIVEL 11 vs. NIVEL 12) señala un promedio de PSD en el electrodo 11 ($M = 0.33$) con el PSD del electrodo 12 ($M = 0.34$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 14.977$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.254$. El decimoprimer contraste (NIVEL 12 vs. NIVEL 13) señala un promedio de PSD en el electrodo

12 ($M = 0.34$) con el PSD del electrodo 13 ($M = 0.30$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 61.939$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.585$. El decimosegundo contraste (NIVEL 13 vs. NIVEL 14) señala un promedio de PSD en el electrodo 13 ($M = 0.30$) con el PSD del electrodo 14 ($M = 0.32$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 30.389$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.409$. Finalmente, la interacción vocales y electrodos evidenció un contraste adicional (NIVEL 7 vs. NIVEL 8), el cual señala un promedio de PSD en el electrodo 7 ($M = 0.31$) con el PSD del electrodo 8 ($M = 0.32$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 5.429$, $p < 0.024$, $\eta^2 = 0.110$.

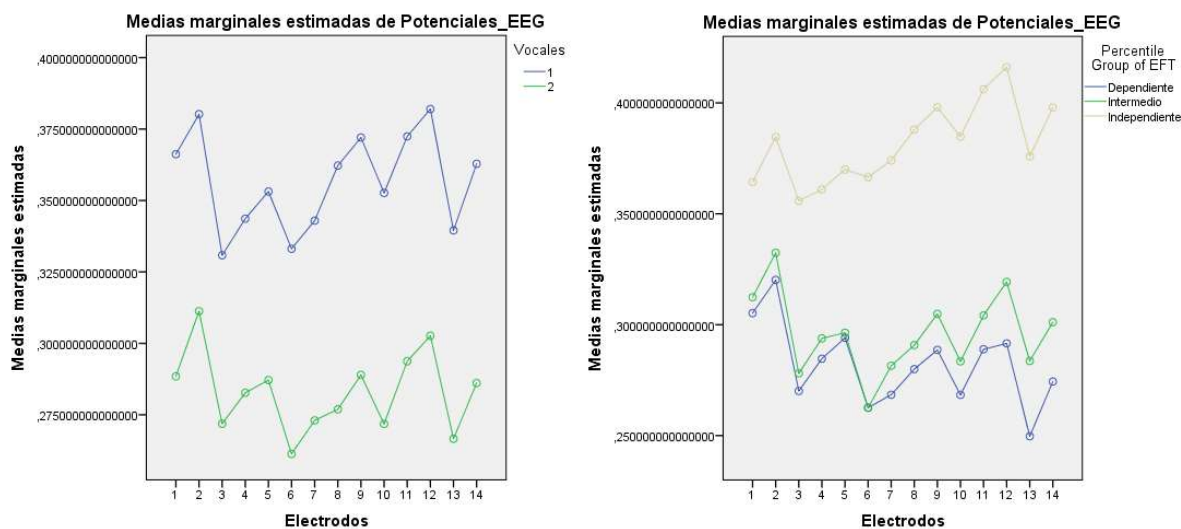


Figura 3. Gráficas resultados IMF1 comparando a la izquierda el comportamiento de las vocales /a/(1) y /u/(2) evidenciando diferencias significativas. La gráfica de la derecha muestra el comportamiento entre los estilos cognitivos en la dimensión DIC para cada electrodo donde no se identifican diferencias significativas a pesar de la leve separación del grupo IC en relación a los grupos IntC y DC

Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los PSD de las vocales /a/ ($M = 0.36$) y /u/ ($M = 0.028$). De la misma forma se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los PSD de los siguientes electrodos: (i) El E2 ($M = 0.35$) es significativamente mayor que el E1 ($M = 0.31$), E3 ($M = 0.30$), E4 ($M = 0.31$), E5 ($M = 0.32$), E6 ($M = 0.30$), (ii) el E9 ($M = 0.33$), es significativamente mayor que el E6 ($M = 0.30$), E8 ($M = 0.32$) y E13 ($M = 0.30$). (iii) el E11 ($M = 0.33$), es significativamente mayor que el E6 ($M = 0.30$), E7 ($M = 0.31$), E8 ($M = 0.32$), E10 ($M = 0.31$) y E13 ($M = 0.30$). (iv) el E12 ($M = 0.34$), es significativamente mayor que el E3 ($M = 0.30$), E6 ($M = 0.30$), E7 ($M = 0.31$), E8 ($M = 0.32$), E9 ($M = 0.33$), E10 ($M = 0.31$), E11 ($M = 0.33$), E13 ($M = 0.30$) y E14 ($M = 0.32$). Finalmente, (v) el E13 ($M = 0.30$), es significativamente menor que el E14 ($M = 0.32$).

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que no existen diferencias significativas del imaginario del habla de vocales en los PSD generados en los diferentes electrodos debido al estilo cognitivo de los sujetos. $F(2,44) = 1.471$, $p = 0.241$, $\eta^2 = 0,063$ (ver figura 3 der).

A manera de conclusión en relación al IMF1 y las vocales /a/, /u/, se resalta la actividad del electrodo 2 ubicado en el área de broadman BR22 o área de Wernicke sobre el giro temporal

superior STG también denominado córtex auditivo asociativo. Los electrodos E12 y E9 sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v. Por otro lado, el electrodo E11 manifestó actividad diferencial entre las áreas de Broadman BR 3,4 denominados córtex somatosensorial primario y córtex motor respectivamente. Según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2007), el electrodo 2 se encuentra sobre la vía ventral del procesamiento del habla relacionado con los procesos de comprensión del lenguaje, mientras que los electrodos E12, E9 y E11 se encuentran sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensoriomotora y la vía del córtex premotor dorsal (PMd) al límite del surco central en la fisura de Rolando (ver figura 4).

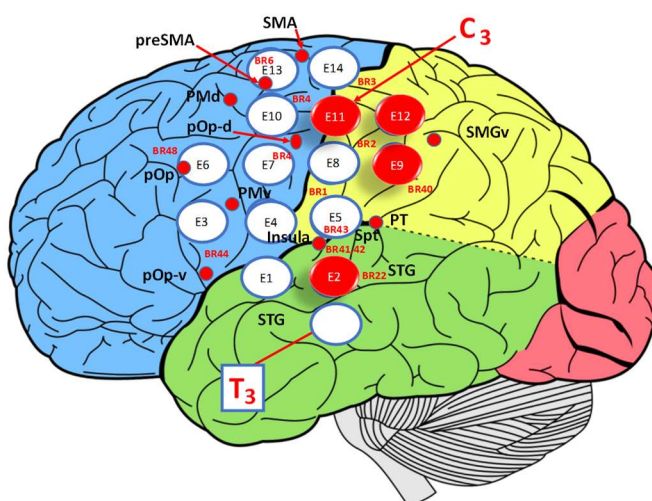


Figura 4. Gráfico indicando la configuración espacial de los electrodos 1 al 14 sobre el hemisferio Izquierdo (HI) en relación al IMF1 para las vocales /a/, /u/, en rojo de mayor a menor diferencias significativas los electrodos E2 (giro temporal superior STG, broadman BR 22 del córtex auditivo asociativo), E12 y E9 (giro supramarginal ventral SMG-v, broadman BR 2,40 córtex somatosensorial asociativo). E11 (Broadman BR 3,4 córtex somatosensorial primario y córtex motor respectivamente).

4.3.3. Reporte de resultados IMF 3 /e/, /o/

El promedio de la prueba EFT de la muestra fue de 10.67; la desviación estándar (DE=3.9). Sobre un puntaje máximo de 18; el valor mínimo fue de 1 y el valor máximo de 18 puntos. Los sujetos fueron agrupados en Dependientes de Campo (DC), intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC), definiendo terciles para el puntaje total en la prueba. De esta forma se identificaron tres rangos de puntajes a saber: (a) 14 sujetos DC (primer tercil), (b) 16 sujetos IntC (segundo tercil), y (c) 12 sujetos IC (tercer tercil). Se excluyeron un total de 28 sujetos de los cuales 16 se reconocieron como casos atípicos (26,69,25,29,22,19,50,2,27,20,42,30,24,15,58,48) y 12 por no incluirse en ningún tercil (53,21,35,54,55,4,16,32,57,60) (ver tablas 5 y 6).

Tabla 5. Factores inter-sujetos con la distribución de sujetos por estilo cognitivo en la dimensión DIC y sus respectivas Medias y Desviaciones Estándar (DS) ponderadas para la relación vocal abierta y cerrada /e/ y /o/ correspondiente al IMF 3.

Factores inter-sujetos	Etiqueta de valor	N	/e/			/o/		
			EFT	Media	DS	EFT	Media	DS
Agrupación por percentil EFT	1	14	DC	0,30	0,17	DC	0,27	0,13
	2	16	IntC	0,32	0,19	IntC	0,27	0,12
	3	12	IC	0,46	0,36	IC	0,31	0,21
			Total	0,34	0,24	Total	0,28	0,14

Tabla 6. Resultados de PSD del imaginario del habla de las vocales /e/ y /o/ en cada electrodo para el IMF 3 y su distribución de medias y desviación estándar de acuerdo al estilo cognitivo Dependiente de Campo DC, Intermedio IntC e Independiente de Campo IC.

/e/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,32	0,14	0,33	0,14	0,29	0,12	0,30	0,13	0,31	0,13	0,29	0,12	0,29	0,12	0,31	0,12	0,31	0,13	0,30	0,13	0,33	0,18	0,32	0,13	0,29	0,13	0,30	0,13
IntC	0,61	0,86	0,60	0,72	0,43	0,33	0,51	0,56	0,50	0,51	0,37	0,20	0,36	0,19	0,40	0,23	0,45	0,32	0,37	0,19	0,39	0,22	0,42	0,26	0,37	0,20	0,39	0,20
IC	0,35	0,21	0,36	0,19	0,31	0,14	0,33	0,16	0,35	0,18	0,31	0,14	0,31	0,14	0,35	0,16	0,36	0,17	0,32	0,15	0,35	0,15	0,36	0,16	0,33	0,14	0,34	0,15
Total	0,44	0,55	0,44	0,47	0,35	0,23	0,39	0,37	0,40	0,34	0,32	0,16	0,32	0,15	0,35	0,18	0,38	0,23	0,33	0,16	0,36	0,19	0,37	0,20	0,33	0,16	0,35	0,17

/o/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,48	0,65	0,50	0,63	0,44	0,65	0,45	0,63	0,46	0,65	0,43	0,64	0,44	0,65	0,47	0,62	0,46	0,65	0,44	0,62	0,45	0,64	0,47	0,64	0,44	0,64	0,44	0,63
IntC	0,55	0,52	0,55	0,47	0,40	0,30	0,46	0,33	0,47	0,35	0,37	0,26	0,41	0,32	0,41	0,30	0,44	0,33	0,39	0,27	0,41	0,30	0,44	0,33	0,39	0,27	0,40	0,28
IC	0,77	1,68	0,76	1,60	0,75	1,67	0,73	1,57	0,78	1,70	0,77	1,71	0,78	1,73	0,76	1,55	0,79	1,64	0,73	1,54	0,79	1,66	0,81	1,70	0,78	1,68	0,79	1,66
Total	0,59	1,00	0,59	0,95	0,51	0,97	0,53	0,92	0,56	0,99	0,51	0,98	0,53	1,00	0,53	0,90	0,55	0,96	0,50	0,90	0,53	0,96	0,56	0,99	0,52	0,97	0,53	0,96

La prueba de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad fue violado. Los datos muestran que el efecto principal de los PSD en los electrodos es: $(X^2(90) = 0.000, p < 0.05)$. Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = 0.86$). Las pruebas multivariantes indican que existen diferencias significativas en los PSD de los electrodos [Traza de Pillai = 0.742, $F(13,27) = 5.959, p < 0.001, \eta^2 = 0.742$] y los PSD de la interacción vocales*electrodos [Traza de Pillai = 0.553, $F(13,27) = 2.572, p = 0.019, \eta^2 = 0.553$]. Sin embargo, no existe interacciones dobles significativa entre las variables intra-sujetos e inter-sujetos, lo que sugiere que los PSD registrados en los 14 electrodos depende del imaginario del habla de las vocales (ver figura 5).

Las pruebas de efectos intra-sujetos no presenta diferencias significativas entre vocales. Sin embargo, muestra diferencias significativas para electrodos con $F(1,144,43.348) = 2.181, p = 0.145, \eta^2 = 0.053$. De igual forma, la interacción vocales*electrodos también muestra diferencias significativas $F(3,174,61.884) = 0.761, p = 0.527, \eta^2 = 0,038$ (ver figura 5).

Las pruebas de contraste intra-sujetos para la variable vocales /e/ y /o/, no presenta diferencias significativas. Para la variable Electrodo, se presentan diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 2 vs. NIVEL 3) el promedio de los PSD generados en el electrodo 2 ($M = 0.52$) con el PSD del electrodo 3 ($M = 0.44$). Este contraste es significativo, $F(1,39) = 4.983, p = 0.031, \eta^2 = 0.113$. El segundo contraste (NIVEL 4 vs. NIVEL 5) muestra un promedio de PSD en el electrodo 4 ($M = 0.46$) con el PSD del electrodo 5 ($M = 0.48$). Este contraste es significativo, $F(1,39) = 4.983, p = 0.023, \eta^2 = 0.125$. El tercer contraste (NIVEL 5 vs. NIVEL 6) señala un promedio de PSD en el electrodo 5 ($M = 0.48$) con el PSD del electrodo 6 ($M = 0.42$). Este contraste es significativo, $F(1,39) = 4.523, p = 0.040, \eta^2 = 0.104$. Un cuarto contraste (NIVEL 8 vs. NIVEL 9) señala un promedio de PSD en el electrodo 8 ($M = 0.45$) con el PSD del electrodo 9 ($M = 0.47$). Este contraste es significativo, $F(1,39) = 4.335, p = 0.044, \eta^2 = 0.100$. El quinto contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señala un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.47$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.42$). Este contraste es significativo, $F(1,39) = 12.592, p = 0.001, \eta^2 = 0.244$. El sexto contraste (NIVEL 10 vs. NIVEL 11) señala un promedio de PSD en

el electrodo 10 ($M = 0.42$) con el PSD del electrodo 11 ($M = 0.45$). Este contraste es significativo, $F(1,39) = 15.106$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.279$. El séptimo contraste (NIVEL 11 vs. NIVEL 12) señala un promedio de PSD en el electrodo 11 ($M = 0.45$) con el PSD del electrodo 12 ($M = 0.47$). Este contraste es significativo, $F(1,39) = 9.175$, $p = 0.004$, $\eta^2 = 0.190$. El octavo contraste (NIVEL 12 vs. NIVEL 13) señala un promedio de PSD en el electrodo 12 ($M = 0.47$) con el PSD del electrodo 13 ($M = 0.43$). Este contraste es significativo, $F(1,39) = 132.420$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.454$. El noveno contraste (NIVEL 13 vs. NIVEL 14) señala un promedio de PSD en el electrodo 13 ($M = 0.43$) con el PSD del electrodo 14 ($M = 0.44$). Este contraste es significativo, $F(1,39) = 31.102$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.444$.

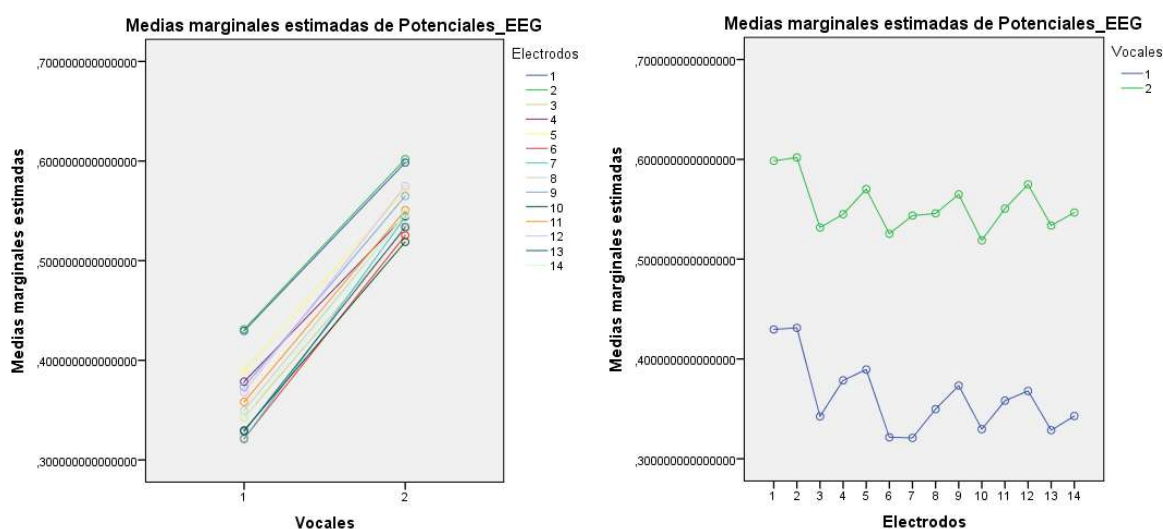


Figura 5. Gráficas de resultados IMF3 comparando el comportamiento de las vocales /e/ (1) y /o/ (2) en relación a los electrodos. A la izquierda y derecha se observa una aparente diferencia significativa según las pruebas multivariantes, sin embargo en las pruebas de efectos iter-sujetos solo evidencia variación en los electrodos.

Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los PSD de las vocales /e/ y /o/. Por otro lado, si existen diferencias significativas entre los electrodos: (i) El E12 ($M = 0.47$) es significativamente mayor que el E6 ($M = 0.42$), E10 ($M = 0.42$), E13 ($M = 0.43$) y E14 ($M = 0.44$). (ii) el E11 ($M = 0.45$), es significativamente mayor que el E6 ($M = 0.42$), E10 ($M = 0.42$) y E13 ($M = 0.43$). (iii) el E14 ($M = 0.44$), es significativamente mayor que el E6 ($M = 0.42$) y E13 ($M = 0.43$). Finalmente (iv) el E9 ($M = 0.47$), es significativamente mayor que el E3 ($M = 0.44$) y E6 ($M = 0.42$).

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que no existen diferencias significativas del imaginario del habla de vocales en los PSD generados en los diferentes electrodos debido al estilo cognitivo de los sujetos. $F(2,44) = 1.471$, $p = 0.241$, $\eta^2 = 0,063$ (ver figura 5).

A manera de conclusión en relación al IMF3 y las vocales /e/, /o/, se resalta la actividad de los electrodos E12 y E9 sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v. Por otro lado, los electrodos E11 y E14 manifestaron actividad diferencial sobre las áreas de Broadman BR 3,4

correspondientes al córtex somatosensorial primario y córtex motor respectivamente. Según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2007) los electrodos E12, E9, E11 y E14 se encuentran sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensoriomotora y la vía del córtex premotor dorsal (PMd) al límite del surco central en la fisura de Rolando (ver figura 6).

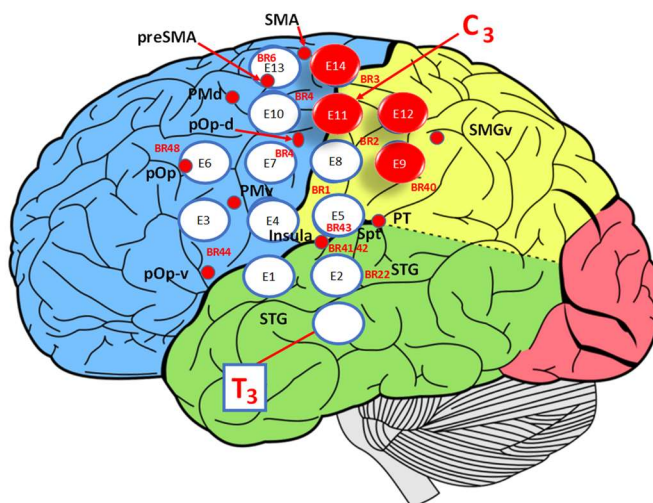


Figura 6. Gráfico indicando la configuración espacial de los electrodos 1 al 14 sobre el hemisferio Izquierdo (HI) en relación al IMF3 para las vocales /e/, /o/, en rojo de mayor a menor diferencias significativas los electrodos E12 y E9 (giro supramarginal ventral SMG-v, broadman BR 2,40 córtex somatosensorial asociativo). E11 y E14 (Broadman BR 3,4 córtex somatosensorial primario y córtex motor respectivamente).

4.3.4. Reporte de resultados IMF 4 /a/, /u/

El promedio de la prueba EFT de la muestra fue de 10.59; la desviación estándar (DE=3.65). Sobre un puntaje máximo de 18; el valor mínimo fue de 1 y el valor máximo de 18 puntos. Los sujetos fueron agrupados en Dependientes de Campo (DC), intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC), definiendo terciles para el puntaje total en la prueba. De esta forma se identificaron tres rangos de puntajes a saber: (a) 17 sujetos DC (primer tercil), (b) 21 sujetos IntC (segundo tercil), y (c) 13 sujetos IC (tercer tercil). Se excluyeron un total de 19 sujetos reconocidos como casos atípicos (30,21,65,53,22,26, 16,60,55,48,27,4,50,57, 35,69,32,67,54) (ver tablas 7 y 8).

Tabla 7. Factores inter-sujetos con la distribución de sujetos por estilo cognitivo en la dimensión DIC y sus respectivas Medias y Desviaciones Estándar (DS) ponderadas para la relación vocal abierta y cerrada /a/ y /u/ correspondiente al IMF 4.

Factores inter-sujetos	Etiqueta de valor	N	/a/		/u/				
			EFT	PROM	EFT	PROM			
Agrupación por percentil EFT	1	Dependiente (DC)	17						
				Media	DS	Media	DS		
				DC	0,33	0,18	DC	0,26	0,17
	2	Intermedio (IntC)	21						
				Media	DS	Media	DS		
				IntC	0,39	0,23	IntC	0,30	0,17
	3	Independiente (IC)	13						
				Media	DS	Media	DS		
				IC	0,46	0,30	IC	0,27	0,14
				Total	0,30	0,24	Total	0,28	0,16

Tabla 8. Resultados de PSD del imaginario del habla de las vocales /a/ y /u/ en cada electrodo para el IMF 4 y su distribución de medias y desviación estándar de acuerdo al estilo cognitivo Dependiente de Campo DC, Intermedio IntC e Independiente de Campo IC.

/a/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0.40	0.36	0.36	0.22	0.32	0.16	0.33	0.17	0.34	0.17	0.31	0.15	0.32	0.17	0.34	0.16	0.35	0.17	0.32	0.15	0.33	0.16	0.34	0.16	0.31	0.15	0.33	0.15
IntC	0.43	0.28	0.42	0.22	0.36	0.18	0.37	0.19	0.40	0.19	0.33	0.17	0.35	0.20	0.39	0.25	0.40	0.25	0.38	0.22	0.41	0.27	0.40	0.26	0.38	0.25	0.39	0.26
IC	0.48	0.26	0.44	0.23	0.43	0.24	0.42	0.25	0.44	0.27	0.43	0.32	0.44	0.31	0.48	0.34	0.49	0.35	0.44	0.33	0.47	0.33	0.48	0.34	0.46	0.32	0.46	0.34
Total	0.43	0.30	0.41	0.22	0.36	0.19	0.37	0.20	0.39	0.21	0.35	0.22	0.36	0.22	0.40	0.25	0.40	0.26	0.37	0.23	0.40	0.26	0.40	0.26	0.38	0.24	0.39	0.26

/u/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0.27	0.17	0.27	0.17	0.25	0.16	0.25	0.16	0.28	0.19	0.24	0.16	0.24	0.16	0.27	0.19	0.27	0.18	0.25	0.17	0.27	0.18	0.26	0.18	0.25	0.17	0.26	0.19
IntC	0.33	0.20	0.33	0.19	0.29	0.16	0.30	0.17	0.31	0.17	0.27	0.15	0.29	0.16	0.32	0.18	0.31	0.17	0.28	0.15	0.29	0.17	0.30	0.17	0.31	0.18	0.29	0.16
IC	0.28	0.15	0.27	0.14	0.26	0.14	0.27	0.14	0.28	0.15	0.26	0.14	0.26	0.14	0.27	0.14	0.28	0.16	0.26	0.14	0.27	0.13	0.28	0.15	0.26	0.13	0.27	0.13
Total	0.29	0.17	0.30	0.17	0.27	0.15	0.28	0.16	0.29	0.17	0.26	0.15	0.26	0.15	0.29	0.17	0.29	0.17	0.26	0.15	0.28	0.16	0.28	0.16	0.28	0.17	0.27	0.16

La prueba de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad fue violado. Los datos muestran que el efecto principal de los PSD en los electrodos es: ($X^2(90) = 847,91$, $p < 0,05$). Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = .17$). Las pruebas multivariantes indican que existen diferencias significativas en el imaginario del habla de las vocales /a/ y /u/ [Traza de Pillai = 0.190, $F(1,48) = 11.27$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0,190$] y los PSD de los electrodos / [Traza de Pillai = 0.553, $F(13,36) = 3.42$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0,553$]. Sin embargo, no existe interacciones dobles significativa entre las variables intra-sujetos y entre las variables intra-sujetos e inter-sujetos, lo que sugiere que los PSD registrados en los 14 electrodos depende del imaginario del habla de las vocales. Las pruebas de efectos DS intra-sujetos muestran diferencias significativas para el imaginario del habla de las vocales /a/, /u/ con un $F(1,44) = 5.302$, $p = 0.026$, $\eta^2 = 0.108$. De igual forma, la variable Electrodo también muestra diferencias significativas $F(2,026,89.151) = 6.722$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0,133$ (ver figura 7).

Las pruebas de efectos intra-sujetos muestra diferencias significativas para el imaginario del habla de las vocales /a/, /u/ con $F(1,48) = 11.27$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0,190$. De igual forma, la variable Electrodo muestra diferencias significativas $F(2,16,103.43) = 4.74$, $p = 0.009$, $\eta^2 = 0,090$ (ver figura 7).

Las pruebas de contraste intra-sujetos para la variable vocales /a/ y /u/, el contraste (NIVEL 1 vs NIVEL 2). Los datos muestran que los valores promedios de los PSD en la vocal /a/ ($M = 0.39$) difieren de los valores promedios de los PSD de la vocal /u/ ($M = 0.277$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 11.27$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0,190$. Para la variable Electrodo, se presentan diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 2 vs. NIVEL 3) el promedio de los PSD generados en el electrodo 2 ($M = 0.35$) con el PSD del electrodo 3 ($M = 0.32$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 13.92$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0,225$. El segundo contraste (NIVEL 4 vs. NIVEL 5) muestra un promedio de PSD en el electrodo 4 ($M = 0.32$) con el PSD del electrodo 5 ($M = 0.34$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 8.22$, $p = 0.006$, $\eta^2 = 0,146$. El tercer contraste (NIVEL 5 vs. NIVEL 6) señala un promedio de PSD en el electrodo 5 ($M = 0.34$) con el PSD del electrodo 6 ($M = 0.31$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 20.15$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0,296$. Un cuarto contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señala un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.35$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.32$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 36.29$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0,431$. El quinto contraste (NIVEL 10 vs. NIVEL 11) señala un promedio de PSD en el electrodo 10 ($M = 0.32$) con el PSD del electrodo 11 ($M = 0.34$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 11.58$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0,194$. Finalmente, un sexto contraste (NIVEL 12 vs. NIVEL 13) señala un promedio de PSD en el electrodo 12 ($M = 0.35$) con el PSD del electrodo 13 ($M = 0.33$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 9.49$, $p = 0.003$, $\eta^2 = 0,165$.

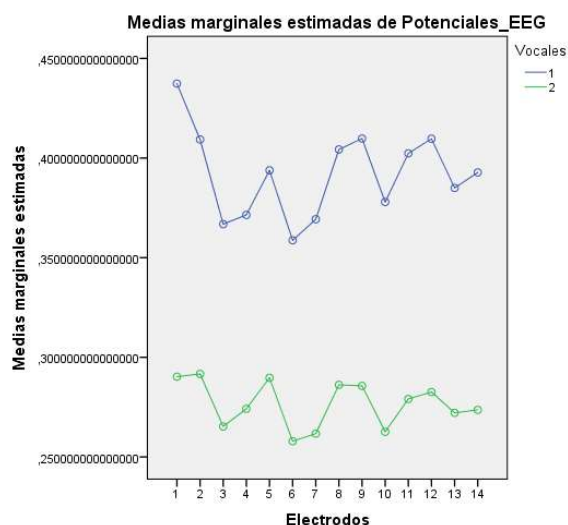


Figura 7. Gráfica resultados IMF4 medias marginales estimadas de PSD de la vocal /a/ y /u/ en cada uno de los electrodos sobre el hemisferio izquierdo (HI) evidenciando diferencias significativas.

Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los PSD de las vocales /a/ ($M = 0.39$) y /u/ ($M = 0.028$). Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los PSD de los siguientes electrodos: (i) El E2 ($M = 0.35$) es significativamente mayor que el E3 ($M = 0.32$), E4 ($M = 0.32$) y E6 ($M = 0.31$), (ii) el E6 ($M = 0.31$), es significativamente menor que el E5 ($M = 0.34$), E8 ($M = 0.35$), E9 ($M = 0.35$) y E12 ($M = 0.35$). (iii) el E7 ($M = 0.32$), es significativamente menor que el E8 ($M = 0.35$), E9 ($M = 0.35$) y E12 ($M = 0.35$) y Finalmente, (iv) el E10 ($M = 0.32$), es significativamente menor que el E8 ($M = 0.35$), E9 ($M = 0.35$), y E12 ($M = 0.35$) (ver figura 7).

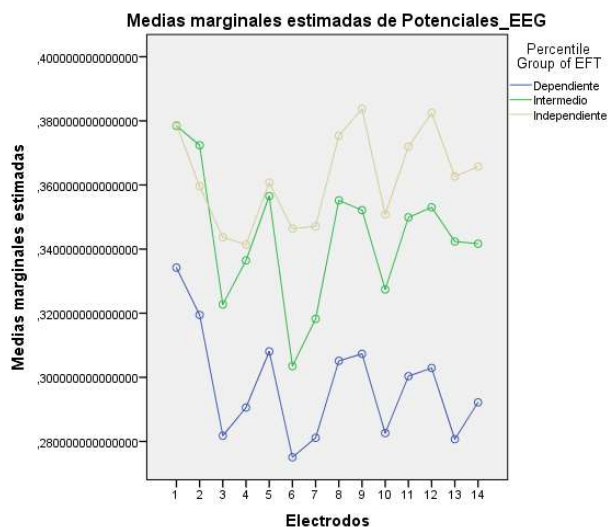


Figura 8. Gráfica resultados IMF4 relacionados con el efecto del estilo cognitivo sobre las medias marginales estimadas de PSD en cada uno de los electrodos sobre el hemisferio izquierdo (HI) evidenciando que no hay diferencias significativas.

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que no existen diferencias significativas del imaginario del habla de vocales en los PSD generados en los diferentes electrodos debido al estilo cognitivo de los sujetos. $F(2,48) = 0.75, p = 0.477, \eta^2 = 0,030$ (ver figura 8).

A manera de conclusión en relación al IMF4 y las vocales /a/, /u/, se resalta la actividad del electrodo 2 ubicado en el área de broadman BR22 o área de Wernicke sobre el giro temporal superior STG también denominado córtex auditivo asociativo. Así como el electrodo 5 ubicado sobre el área Spt Fisura de Silvio en el límite parieto-temporal entre la ínsula y las áreas de broadman 41, 42 y 43 correspondientes al córtex auditivo primario y asociativo y córtex gustativo respectivamente. Los electrodos E12 y E9 sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v. Por otro lado, el electrodo E8 manifestó actividad diferencial en el área de Broadman BR 1 denominada córtex somatosensorial primario. Según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2007), el electrodo 2 y 5 se encuentra sobre la vía ventral del procesamiento del habla relacionado con los procesos de comprensión del lenguaje, mientras que los electrodos E12, E9 y E8 se encuentran sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensoriomotora. En el caso del electrodo 8 se diferenció sobre la vía del córtex premotor dorsal (PMd) al límite del surco central próximo a la fisura de Rolando (ver figura 9).

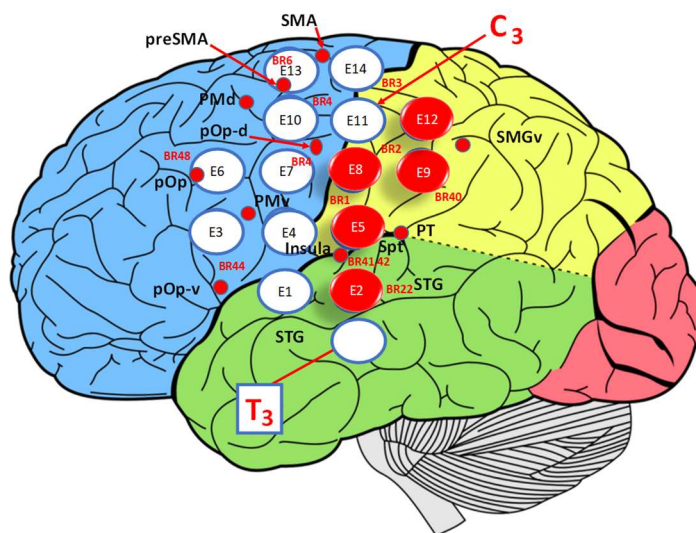


Figura 9. Gráfico indicando la configuración espacial de los electrodos 1 a 14 sobre el hemisferio Izquierdo (HI) en relación al IMF4 para las vocales /a/, /u/, en rojo de mayor a menor diferencias significativas los electrodos E2 y E5 (giro temporal superior STG, broadman BR 22, 41, 42 y 43 del córtex auditivo primario y asociativo e ínsula), E12, E9 y E8 (giro supramarginal ventral SMG-v, broadman BR 1, 2 y 40 córtex somatosensorial primario y asociativo).

4.3.5. Reporte de resultados IMF 4 /i/, /o/

El promedio de la prueba EFT de la muestra fue de 11.05; la desviación estándar (DE=3.51). Sobre un puntaje máximo de 18; el valor mínimo fue de 3 y el valor máximo de 18 puntos. Los sujetos fueron agrupados en Dependientes de Campo (DC), intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC), definiendo terciles para el puntaje total en la prueba. De esta forma se identificaron tres

rangos de puntajes a saber: (a) 12 sujetos DC (primer tercil), (b) 15 sujetos IntC (segundo tercil), y (c) 12 sujetos IC (tercer tercil). Se excluyeron un total de 31 sujetos de los cuales 19 eran reconocidos como casos atípicos (50,26,21,18,3.19, 38,42,22,48,20,41,46,25,40,27,29,58,35) y 12 por no incluirse en ningún tercil (67,32,53, 55,54,30,57,4,65,60,16,69) (ver tablas 9 y 10).

Tabla 9. Factores inter-sujetos con la distribución de sujetos por estilo cognitivo en la dimensión DIC y sus respectivas Medias y Desviaciones Estándar (DS) ponderadas para la relación vocal abierta y cerrada /i/ y /o/ correspondiente al IMF4.

Factores inter-sujetos	Etiqueta de valor	N	/i/		/o/			
			PROM	DS	PROM	DS		
Agrupación por percentil EFT	1	Dependiente (DC)	12					
	2	Intermedio (IntC)	15					
	3	Independiente (IC)	12					
			EFT	Media	DS	EFT	Media	DS
			DC	0,45	0,84	DC	0,38	0,49
			IntC	0,27	0,15	IntC	0,27	0,16
			IC	0,33	0,27	IC	0,36	0,36
			Total	0,34	0,49	Total	0,33	0,34

La prueba de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad fue violado. Los datos muestran que el efecto principal de los PSD en los electrodos es: $(2X(90) = 621.006, p < 0,05)$. Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = .21$). Las pruebas multivariantes indican que existen diferencias significativas entre electrodos [Traza de Pillai = 0.786, $F(13,24) = 6.794, p < 0.001, \eta^2 = 0,786$] y los PSD de la interacción entre los electrodos y el estilo cognitivo electrodos*NEFT / [Traza de Pillai = 0.968, $F(26,50) = 1.8, p = 0.037, \eta^2 = 0,484$]. Sin embargo, no existe interacciones dobles significativa entre las variables intra-sujetos de vocales y entre las variables intra-sujetos vocales e inter-sujetos estilo cognitivo, lo que sugiere que los PSD registrados en los 14 electrodos depende del estilo cognitivo (ver figura 26).

Tabla 1020. Resultados de PSD del imaginario del habla de las vocales /i/ y /o/ en cada electrodo para el IMF 4 y su distribución de medias y desviación estándar de acuerdo al estilo cognitivo Dependiente de Campo DC, Intermedio IntC e Independiente de Campo IC.

/i/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14		
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	
DC	0,46	0,85	0,46	0,79	0,44	0,86	0,43	0,80	0,46	0,85	0,44	0,85	0,45	0,86	0,44	0,80	0,46	0,84	0,43	0,80	0,45	0,85	0,46	0,85	0,45	0,86	0,45	0,84	
IntC	0,28	0,16	0,29	0,17	0,26	0,15	0,27	0,15	0,27	0,16	0,25	0,14	0,25	0,13	0,27	0,15	0,28	0,16	0,25	0,14	0,27	0,14	0,28	0,15	0,26	0,14	0,27	0,14	
IC	0,34	0,26	0,32	0,25	0,30	0,25	0,31	0,25	0,34	0,27	0,30	0,24	0,30	0,25	0,32	0,26	0,33	0,27	0,30	0,24	0,32	0,25	0,33	0,26	0,42	0,43	0,36	0,27	
Total	0,35	0,49	0,35	0,47	0,33	0,49	0,33	0,47	0,35	0,50	0,32	0,49	0,33	0,50	0,34	0,46	0,35	0,49	0,32	0,46	0,34	0,49	0,35	0,50	0,37	0,53	0,35	0,49	
/o/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14		
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	
DC	0,37	0,50	0,38	0,48	0,35	0,49	0,36	0,48	0,40	0,50	0,38	0,51	0,36	0,49	0,39	0,49	0,38	0,49	0,35	0,48	0,38	0,49	0,39	0,49	0,37	0,48	0,39	0,49	
IntC	0,28	0,17	0,29	0,18	0,26	0,15	0,27	0,16	0,28	0,16	0,25	0,14	0,25	0,14	0,27	0,16	0,28	0,17	0,26	0,15	0,27	0,16	0,28	0,17	0,26	0,15	0,28	0,16	
IC	0,34	0,36	0,34	0,34	0,34	0,36	0,34	0,34	0,36	0,36	0,35	0,36	0,35	0,36	0,37	0,35	0,37	0,36	0,35	0,35	0,37	0,36	0,38	0,36	0,36	0,36	0,37	0,35	
Total	0,33	0,35	0,33	0,34	0,31	0,35	0,32	0,33	0,34	0,35	0,32	0,35	0,31	0,34	0,34	0,34	0,34	0,35	0,32	0,33	0,34	0,35	0,34	0,35	0,34	0,35	0,32	0,34	0,34

Las pruebas de efectos intra-sujetos muestra diferencias significativas para el imaginario del habla de vocales /i/, /o/ en los PSD entre los electrodos $F(2.745,98.821) = 3.067, p = 0.036, \eta^2 = 0,079$. Sin embargo, no reporta diferencias significativas con dobles interacciones o entre vocales (ver figura 10).

Las pruebas de contraste intra-sujetos para la variable vocales /i/ y /o/ no presentan diferencias significativas. Para la variable Electrodo, se presentan diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 2 vs. NIVEL 3) el promedio de los PSD generados en el electrodo 2 ($M = 0.35$) con el PSD del electrodo 3 ($M = 0.33$). Este contraste es significativo, $F(1,36) = 12.332, p = 0.001, \eta^2 = 0.255$. El segundo contraste (NIVEL 4 vs. NIVEL 5) muestra un promedio de PSD en el electrodo 4 ($M = 0.33$) con el PSD del electrodo 5 ($M = 0.35$). Este contraste es significativo, $F(1,39) = 9.159, p = 0.005, \eta^2 = 0.203$. El tercer contraste (NIVEL 5 vs. NIVEL 6) señala un promedio de PSD en el electrodo 5 ($M = 0.35$) con el PSD del electrodo 6 (M

= 0.33). Este contraste es significativo, $F(1,39) = 14.261$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.284$. Un cuarto contraste (NIVEL 7 vs. NIVEL 8) señala un promedio de PSD en el electrodo 7 ($M = 0.33$) con el PSD del electrodo 8 ($M = 0.34$). Este contraste es significativo, $F(1,39) = 4.957$, $p = 0.032$, $\eta^2 = 0.121$. El quinto contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señala un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.35$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.32$).

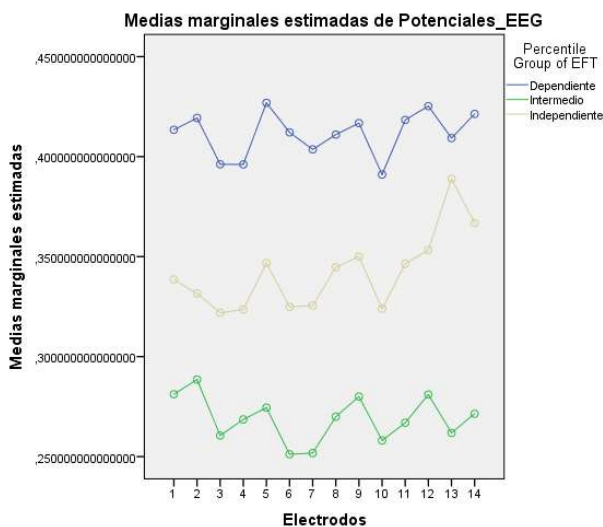


Figura 10. Gráfica resultados IMF4 medias marginales estimadas de PSD de la vocal /i/ y/o/ en cada uno de los electrodos sobre el hemisferio izquierdo (HI) evidenciando que no hay diferencias significativas entre electrodos y vocales.

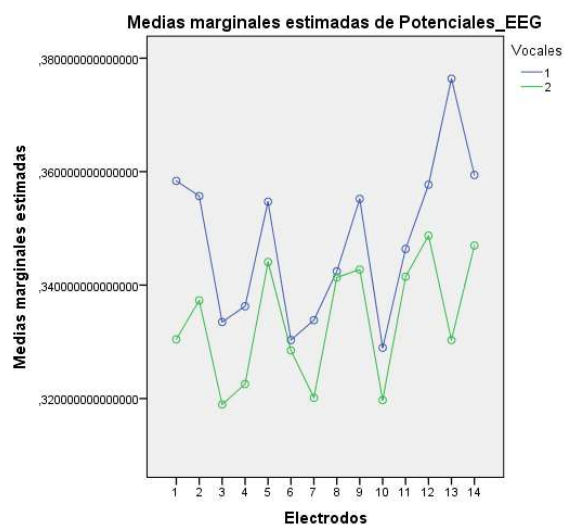


Figura 11. Gráfica resultados IMF4 relacionados con el efecto del estilo cognitivo sobre las medias marginales estimadas de PSD en cada uno de los electrodos sobre el hemisferio izquierdo (HI) evidenciando que no hay diferencias significativas.

Este contraste es significativo, $F(1,39) = 24.779$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.408$. El sexto contraste (NIVEL 10 vs. NIVEL 11) señala un promedio de PSD en el electrodo 10 ($M = 0.32$) con el PSD del electrodo 11 ($M = 0.34$). Este contraste es significativo, $F(1,39) = 14.818$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.292$. El séptimo contraste (NIVEL 11 vs. NIVEL 12) señala un promedio de PSD en el electrodo 11 (M

= 0.34) con el PSD del electrodo 12 ($M = 0.35$). Este contraste es significativo, $F(1,39) = 23.272$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.393$. No se presentan contrastes con diferencias significativas en interacciones inter e intrasujetos.

Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los PSD de las vocales /i/, /o/. Por otro lado, si existen diferencias significativas entre los electrodos: (i) El E12 ($M = 0.35$) es significativamente mayor que el E3 ($M = 0.33$), E4 ($M = 0.33$), E6 ($M = 0.33$), E10 ($M = 0.32$) y E11 ($M = 0.34$), (ii) el E9 ($M = 0.35$), es significativamente mayor que el E3 ($M = 0.33$), E4 ($M = 0.33$), E7 ($M = 0.33$) y E10 ($M = 0.32$). (iii) el E11 ($M = 0.34$), es significativamente mayor que el E6 ($M = 0.33$) y E10 ($M = 0.32$). (iv) el E7 ($M = 0.33$), es significativamente menor que el E12 ($M = 0.35$). (v) el E4 ($M = 0.33$), es significativamente menor que el E2 ($M = 0.35$). Finalmente (vi) el E3 ($M = 0.33$) es significativamente menor que el E1 ($M = 0.34$) (ver figura 10).

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que existen diferencias significativas en la intersección de los PSD generados en los diferentes electrodos debido al estilo cognitivo de los sujetos. $F(1,36) = 28.410$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0,441$. El NEFT en esta prueba no reporta diferencias $F(2,36) = 0.432$, $p = 0.653$, $\eta^2 = 0,023$ (ver figuras 10).

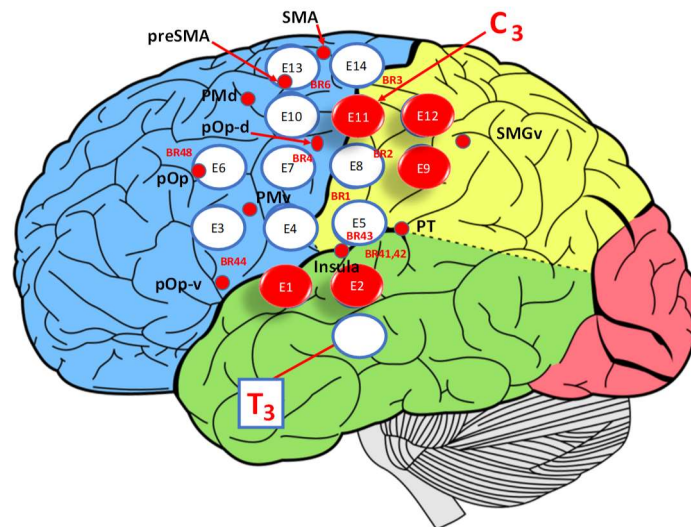


Figura 12. Gráfico indicando la configuración espacial de los electrodos 1 al 14 sobre el hemisferio Izquierdo (HI) en relación al IMF4 para las vocales /i/ y /o/, en rojo de mayor a menor diferencias significativas los electrodos E2 y E1 (giro temporal superior STG, broadman BR 22, 41 y 42 del córtex auditivo primario y asociativo), E12, E9 y E11 (giro supramarginal ventral SMG-v, broadman BR 1, 2, 3 y 40 córtex somatosensorial primario y asociativo).

A manera de conclusión en relación al IMF4 y las vocales /i/, /o/, se resalta la actividad del electrodo 2 ubicado en el área de broadman BR22 o área de Wernicke sobre el giro temporal superior STG también denominado córtex auditivo asociativo junto con el electrodo 1 sobre el área de broadman 42 marcado tenuemente. Los electrodos E12 y E9 sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v muestran las más importantes diferencias significativas. Por otro lado, el electrodo E11 manifiesta actividad diferencial sobre el área de Broadman BR 3

correspondiente al córtex somatosensorial primario. Según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2007), los electrodo 1 y 2 se encuentra sobre la vía ventral del procesamiento del habla relacionado con los procesos de comprensión del lenguaje, mientras que los electrodos E12, E9 y E11 se encuentran sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensorio motora (ver figura 12).

4.3.6. Reporte de resultados IMF 4 Total /a/, /e/, /i/, /o/, /u/

El promedio de la prueba EFT de la muestra fue de 10.6; la desviación estándar (DE=3.6). Sobre un puntaje máximo de 18; el valor mínimo fue de 1 y el valor máximo de 18 puntos. Los sujetos fueron agrupados en Dependientes de Campo (DC), intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC), definiendo terciles para el puntaje total en la prueba. De esta forma se identificaron tres rangos de puntajes a saber: (a) 17 sujetos DC (primer tercil), (b) 21 sujetos IntC (segundo tercil), y (c) 13 sujetos IC (tercer tercil). Se excluyeron un total de 19 sujetos todos debido a que no se incluyen en ningún tercil (65,30,21,69,50,26,16,53,48,27,22,60,5,3,14,67,4,32,54) (ver tablas 11 y 12).

La prueba de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad fue violado. Los datos muestran que el efecto principal de los PSD en las vocales es: ($X(9) = 68.706, p < 0,05$). Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = .60$). Los PSD en los electrodos es: ($X(90) = 1179.460, p < 0,05$). Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = .195$). Las pruebas multivariantes indican que existen diferencias significativas entre vocales [Traza de Pillai = 0.325, $F(4,45) = 5.420, p < 0.001, \eta^2 = 0,325$] y los PSD de los electrodos [Traza de Pillai = 0.575, $F(13,36) = 3.744, p < 0.001, \eta^2 = 0,575$]. Sin embargo, no existe interacciones dobles significativa entre las variables intra-sujetos e inter-sujetos estilo cognitivo, lo que sugiere que los PSD registrados en los 14 electrodos solo explica la relación entre electrodos y vocales entre las vocales abiertas y cerradas en el caso de las vocales /a/ y /u/. Las pruebas de efectos intra-sujetos no reporta diferencias significativas con dobles interacciones o entre vocales y electrodos (ver figura 13).

Tabla 11. Factores inter-sujetos con la distribución de sujetos por estilo cognitivo en la dimensión DIC y sus respectivas Medias y Desviaciones Estándar (DS) ponderadas para las vocales /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/ correspondiente al IMF 4.

Factores inter-sujetos	Etiqueta de valor	N	
Agrupación por percentil EFT	1	Dependiente (DC)	17
	2	Intermedio (IntC)	21
	3	Independiente (IC)	13

/a/			/e/			/i/			/o/			/u/		
PROM			PROM			PROM			PROM			PROM		
EFT	Media	DS	EFT	Media	DS	EFT	Media	DS	EFT	Media	DS	EFT	Media	DS
DC	0,33	0,17	DC	0,28	0,21	DC	0,48	1,02	DC	0,45	0,55	DC	0,26	0,17
IntC	0,40	0,27	IntC	0,41	0,44	IntC	0,35	0,31	IntC	0,35	0,27	IntC	0,30	0,17
IC	0,45	0,31	IC	0,31	0,21	IC	0,32	0,26	IC	0,40	0,40	IC	0,27	0,14
Total	0,39	0,26	Total	0,34	0,37	Total	0,39	0,64	Total	0,39	0,42	Total	0,28	0,16

Tabla 12. Resultados de PSD del imaginario del habla de las vocales /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/ en cada electrodo para el IMF 4 y su distribución de medias y desviación estándar de acuerdo al estilo cognitivo Dependiente de Campo DC, Intermedio IntC e Independiente de Campo IC.

/a/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0.40	0.36	0.36	0.22	0.33	0.17	0.34	0.17	0.31	0.15	0.32	0.17	0.34	0.16	0.35	0.17	0.32	0.15	0.33	0.16	0.34	0.16	0.31	0.15	0.33	0.15	0.26	0.09
IntC	0.43	0.28	0.42	0.22	0.37	0.19	0.40	0.19	0.33	0.17	0.35	0.20	0.39	0.25	0.40	0.25	0.38	0.22	0.41	0.27	0.40	0.26	0.38	0.25	0.39	0.26	0.51	0.78
IC	0.48	0.26	0.44	0.23	0.42	0.25	0.44	0.27	0.43	0.32	0.44	0.31	0.48	0.34	0.49	0.35	0.44	0.33	0.47	0.33	0.48	0.34	0.46	0.32	0.46	0.34	0.34	0.28
Total	0.43	0.30	0.41	0.22	0.37	0.20	0.39	0.21	0.35	0.22	0.36	0.22	0.40	0.25	0.40	0.26	0.37	0.23	0.40	0.26	0.40	0.26	0.38	0.24	0.39	0.26	0.38	0.53
/e/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0.26	0.09	0.26	0.10	0.24	0.10	0.24	0.10	0.25	0.10	0.24	0.10	0.25	0.11	0.27	0.10	0.26	0.10	0.25	0.10	0.30	0.23	0.26	0.10	0.62	1.52	0.25	0.10
IntC	0.51	0.78	0.53	0.67	0.37	0.29	0.37	0.47	0.44	0.48	0.30	0.16	0.53	1.11	0.50	0.67	0.37	0.31	0.35	0.27	0.42	0.39	0.31	0.15	0.37	0.28	0.31	0.16
IC	0.34	0.28	0.34	0.25	0.29	0.18	0.31	0.20	0.33	0.24	0.29	0.18	0.29	0.18	0.32	0.22	0.33	0.23	0.29	0.18	0.32	0.20	0.33	0.21	0.30	0.19	0.31	0.19
Total	0.38	0.53	0.39	0.46	0.30	0.22	0.31	0.32	0.35	0.34	0.28	0.15	0.37	0.72	0.37	0.45	0.32	0.24	0.30	0.21	0.36	0.30	0.30	0.16	0.43	0.90	0.29	0.15
/i/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0.39	0.72	0.38	0.67	0.37	0.72	0.37	0.68	1.52	4.73	0.36	0.72	0.49	0.84	0.37	0.67	0.39	0.71	0.36	0.68	0.38	0.72	0.39	0.72	0.57	1.06	0.38	0.71
IntC	0.39	0.38	0.39	0.31	0.37	0.33	0.31	0.17	0.56	0.99	0.32	0.26	0.35	0.32	0.35	0.24	0.33	0.24	0.26	0.12	0.32	0.24	0.36	0.35	0.28	0.13	0.32	0.22
IC	0.32	0.25	0.32	0.24	0.29	0.24	0.30	0.24	0.32	0.26	0.29	0.24	0.29	0.25	0.31	0.25	0.32	0.26	0.30	0.23	0.32	0.24	0.32	0.26	0.41	0.41	0.35	0.26
Total	0.37	0.49	0.37	0.44	0.35	0.47	0.33	0.41	0.82	2.80	0.33	0.46	0.38	0.54	0.35	0.43	0.35	0.45	0.30	0.41	0.34	0.45	0.36	0.48	0.41	0.65	0.35	0.44
/o/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0.42	0.53	0.49	0.54	0.46	0.58	0.46	0.55	0.43	0.52	0.41	0.53	0.45	0.55	0.58	0.73	0.43	0.55	0.40	0.51	0.44	0.53	0.43	0.53	0.46	0.54	0.44	0.55
IntC	0.41	0.41	0.38	0.32	0.31	0.18	0.35	0.24	0.36	0.24	0.30	0.18	0.49	0.72	0.31	0.19	0.33	0.20	0.32	0.22	0.32	0.23	0.34	0.23	0.31	0.20	0.33	0.23
IC	0.35	0.35	0.38	0.35	0.37	0.36	0.33	0.32	0.35	0.35	0.36	0.35	0.51	0.66	0.38	0.33	0.44	0.42	0.39	0.37	0.52	0.64	0.45	0.45	0.36	0.35	0.36	0.34
Total	0.40	0.43	0.42	0.41	0.38	0.40	0.38	0.39	0.38	0.38	0.35	0.37	0.48	0.64	0.42	0.47	0.39	0.40	0.36	0.37	0.41	0.46	0.40	0.40	0.37	0.38	0.38	0.38
/u/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0.27	0.17	0.27	0.17	0.25	0.16	0.25	0.16	0.28	0.19	0.24	0.16	0.24	0.16	0.27	0.19	0.27	0.18	0.25	0.17	0.27	0.18	0.26	0.18	0.25	0.17	0.26	0.19
IntC	0.33	0.20	0.33	0.19	0.29	0.16	0.30	0.17	0.31	0.17	0.27	0.15	0.29	0.16	0.32	0.18	0.31	0.17	0.28	0.15	0.29	0.17	0.30	0.17	0.31	0.18	0.29	0.16
IC	0.28	0.15	0.27	0.14	0.26	0.14	0.27	0.14	0.28	0.15	0.26	0.14	0.26	0.14	0.27	0.14	0.28	0.16	0.26	0.14	0.27	0.13	0.28	0.15	0.26	0.13	0.27	0.13
Total	0.29	0.17	0.30	0.17	0.27	0.15	0.28	0.16	0.29	0.17	0.26	0.15	0.26	0.15	0.29	0.17	0.29	0.17	0.26	0.15	0.28	0.16	0.28	0.16	0.28	0.17	0.27	0.16

Las pruebas de contraste intra-sujetos para la variable vocales /o/ y /u/ señalan el contraste (NIVEL 4 vs NIVEL 5) con diferencias significativas. Los datos muestran que los valores promedios de los PSD en la vocal /o/ ($M = 0.4$) difieren de los valores promedios de los PSD de la vocal /u/ ($M = 0.28$). Este contraste es significativo, $F(1,2) = 7.090$, $p = 0.011$, $\eta^2 = 0.129$. Para la variable Electrodo, se presentan diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 2 vs. NIVEL 3) el promedio de los PSD generados en el electrodo 2 ($M = 0.37$) con el PSD del electrodo 3 ($M = 0.33$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 5.440$, $p = 0.024$, $\eta^2 = 0.102$. El segundo contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) muestra un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.35$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.32$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 18.702$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.280$. El tercer contraste (NIVEL 10 vs. NIVEL 11) señala un promedio de PSD en el electrodo 10 ($M = 0.32$) con el PSD del electrodo 11 ($M = 0.36$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 18.444$, $p = 0.006$, $\eta^2 = 0.150$. No se presentan contrastes con diferencias significativas en interacciones inter e intrasujetos.

Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los PSD de las vocales /a/ y /u/, dado que /a/ ($M = 0.39$) es significativamente mayor que /u/ ($M = 0.28$). De igual manera existen diferencias significativas entre los electrodos: (i) E2 ($M = 0.37$) es significativamente mayor que el E4 ($M = 0.33$). (ii) el E6 ($M = 0.31$), es significativamente menor que el E12 ($M = 0.35$) y E14 ($M = 0.34$). Finalmente (iii) el E9 ($M = 0.35$), es significativamente mayor que el E6 ($M = 0.31$) y E10 ($M = 0.32$) (ver figura 13).

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que existen diferencias significativas en la intersección de los PSD generados en los diferentes electrodos debido al efecto sobre las vocales. $F(1,48) = 147.019$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.754$. El NEFT en esta prueba no reporta diferencias $F(2,48) = 0.012$, $p = 0.988$, $\eta^2 = 0.000$.

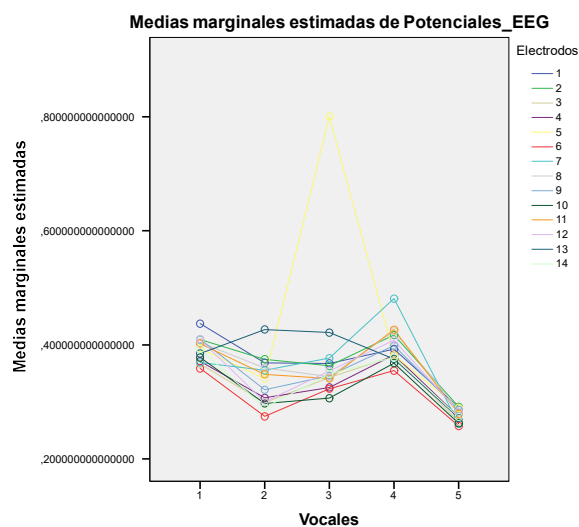


Figura 13. Gráfica resultados IMF4 medias marginales estimadas de PSD de las vocal /a/, /e/, /i/, /o/, /u/ en cada uno de los electrodos sobre el hemisferio izquierdo (HI) evidenciando diferencias significativas entre electrodos y las vocales /a/ y /u/.

A manera de conclusión en relación al IMF4 y las vocales /a/, /e/, /i/, /o/, /u/, se resalta la actividad del electrodo 2 ubicado en el área de broadman BR22 o área de Wernicke sobre el giro temporal superior STG también denominado córtex auditivo asociativo. Los electrodos E12 y E9 sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v muestran las más importantes diferencias significativas (ver figura 14).

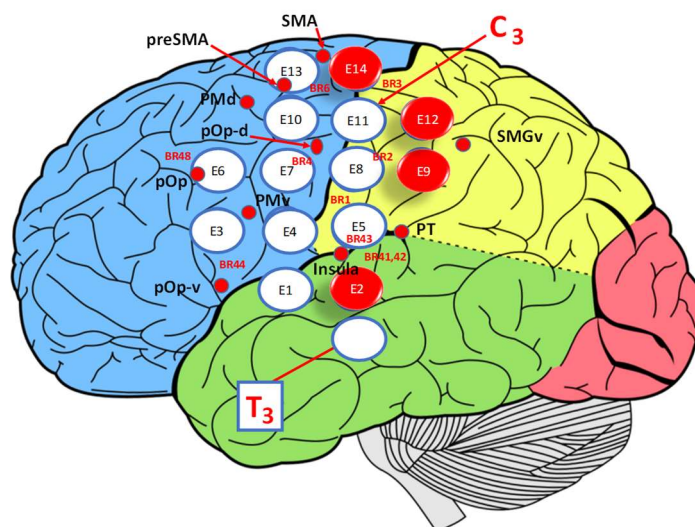


Figura 14. Gráfico indicando la configuración espacial de los electrodos 1 al 14 sobre el hemisferio Izquierdo (HI) en relación al IMF4 para las vocales /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/ en rojo de mayor a menor diferencias significativas los electrodos E2 (giro temporal superior STG, broadman BR 22 del córtex auditivo asociativo), E9 y E12 (giro supramarginal ventral SMG-v, broadman BR 2 y 40 córtex somatosensorial asociativo) y E14 (BR4 cortex premotor dorsal PMd).

Por otro lado, el electrodo E14 manifiesta actividad diferencial sobre el área de Broadman BR 4 correspondiente al córtex motor. Según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2007), el electrodo 2 se encuentra sobre la vía ventral del procesamiento del habla relacionado con los procesos de comprensión del lenguaje, mientras que los electrodos E9 y E12 se encuentran sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensorio motora. En dirección de procesamiento al electrodo 14 relacionado con el córtex premotor dorsal (PMd) al límite del surco central en la fisura de Rolando (ver figura 14).

4.3.7. Reporte de resultados IMF 5 /a/, /u/

El promedio de la prueba EFT de la muestra fue de 10.17; la desviación estándar (DE=3.9). Sobre un puntaje máximo de 18; el valor mínimo fue de 1 y el valor máximo de 18 puntos. Los sujetos fueron agrupados en Dependientes de Campo (DC), intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC), definiendo terciles para el puntaje total en la prueba. De esta forma se identificaron tres rangos de puntajes a saber: (a) 17 sujetos DC (primer tercil), (b) 19 sujetos IntC (segundo tercil), y (c) 12 sujetos IC (tercer tercil). Se excluyeron un total de 19 sujetos de los cuales 17 se reconocieron como casos atípicos (21,65,30,26,53,67,22,55,54,57,27,48,62,35,49,33,60) y 2 por no incluirse en ningún tercil (16,69) (ver tablas 13 y 14).

Tabla 13. Factores inter-sujetos con la distribución de sujetos por estilo cognitivo en la dimensión DIC y sus respectivas Medias y Desviaciones Estándar (DS) ponderadas para la relación vocal abierta y cerrada /a/ y /u/ correspondiente al IMF 5.

Factores inter-sujetos	Etiqueta de valor	N	/a/			/u/			
			EFT	Media	DS	EFT	Media	DS	
Agrupación por percentil EFT	1	Dependiente (DC)	17						
	2	Intermedio (IntC)	19	DC	0,16	0,10	DC	0,13	0,14
	3	Independiente (IC)	12	IntC	0,19	0,12	IntC	0,12	0,06
				IC	0,19	0,18	IC	0,12	0,09
				Total	0,18	0,13	Total	0,12	0,10

Tabla 14. Resultados de PSD del imaginario del habla de las vocales /a/ y /u/ en cada electrodo para el IMF 5 y su distribución de medias y desviación estándar de acuerdo al estilo cognitivo Dependiente de Campo DC, Intermedio IntC e Independiente de Campo IC.

/a/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
EFT	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,19	0,19	0,19	0,16	0,15	0,10	0,16	0,10	0,16	0,10	0,15	0,09	0,15	0,09	0,17	0,09	0,16	0,10	0,15	0,09	0,16	0,09	0,16	0,09	0,15	0,08	0,15	0,09
IntC	0,19	0,11	0,19	0,11	0,17	0,10	0,18	0,10	0,19	0,11	0,17	0,10	0,18	0,11	0,20	0,14	0,20	0,13	0,18	0,12	0,20	0,14	0,20	0,13	0,19	0,13	0,19	0,14
IC	0,26	0,29	0,19	0,21	0,17	0,15	0,17	0,16	0,19	0,19	0,17	0,15	0,18	0,17	0,20	0,18	0,19	0,21	0,17	0,16	0,18	0,17	0,19	0,19	0,17	0,15	0,17	0,15
Total	0,21	0,20	0,19	0,15	0,17	0,11	0,17	0,12	0,18	0,13	0,16	0,11	0,17	0,12	0,19	0,14	0,18	0,14	0,17	0,12	0,18	0,13	0,18	0,14	0,17	0,12	0,17	0,12

/u/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
EFT	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,13	0,13	0,14	0,13	0,12	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,12	0,13	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,13	0,14	0,17	0,24	0,13	0,14	0,12	0,11	0,13	0,14
IntC	0,12	0,05	0,12	0,05	0,11	0,05	0,11	0,05	0,12	0,05	0,11	0,05	0,11	0,05	0,16	0,15	0,12	0,05	0,11	0,05	0,12	0,06	0,12	0,05	0,12	0,06	0,11	0,05
IC	0,12	0,08	0,12	0,09	0,11	0,08	0,12	0,09	0,15	0,18	0,11	0,08	0,11	0,08	0,11	0,08	0,12	0,09	0,11	0,08	0,11	0,07	0,12	0,08	0,11	0,07	0,11	0,07
Total	0,13	0,09	0,13	0,09	0,12	0,09	0,12	0,09	0,13	0,12	0,12	0,09	0,11	0,09	0,14	0,13	0,13	0,10	0,12	0,09	0,14	0,15	0,12	0,09	0,12	0,08	0,12	0,09

La prueba de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad fue violado. Los datos muestran que el efecto principal de los PSD en los electrodos es: ($X^2(90) = 884.539, p < 0.05$). Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = 0.31$). Las pruebas multivariantes indican que existen diferencias significativas en los PSD de las vocales /a/ y /u/ [Traza de Pillai = 0.116, $F(1,45) = 5.900, p = 0.019, \eta^2 = 0.116$] y los PSD de los electrodos [Traza de Pillai = 0.685, $F(13,33) = 5.516, p < 0.001, \eta^2 = 0.685$]. Sin embargo, no existe interacciones dobles significativa entre las variables intra-sujetos e inter-sujetos, lo que sugiere que los PSD registrados en los 14 electrodos depende del imaginario del habla de las vocales (ver figura 15).

Las pruebas de efectos intra-sujetos muestra diferencias significativas para el imaginario del habla de vocales /a/, /u/ en los PSD con un $F(4.05, 1.171) = 4.043$, $p = 0.019$, $\eta^2 = 0.116$. Así como para los electrodos $F(1, 45) = 5.9$, $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.082$. Sin embargo, no reporta diferencias significativas con dobles interacciones intrasujetos con intersujetos (ver figura 15).

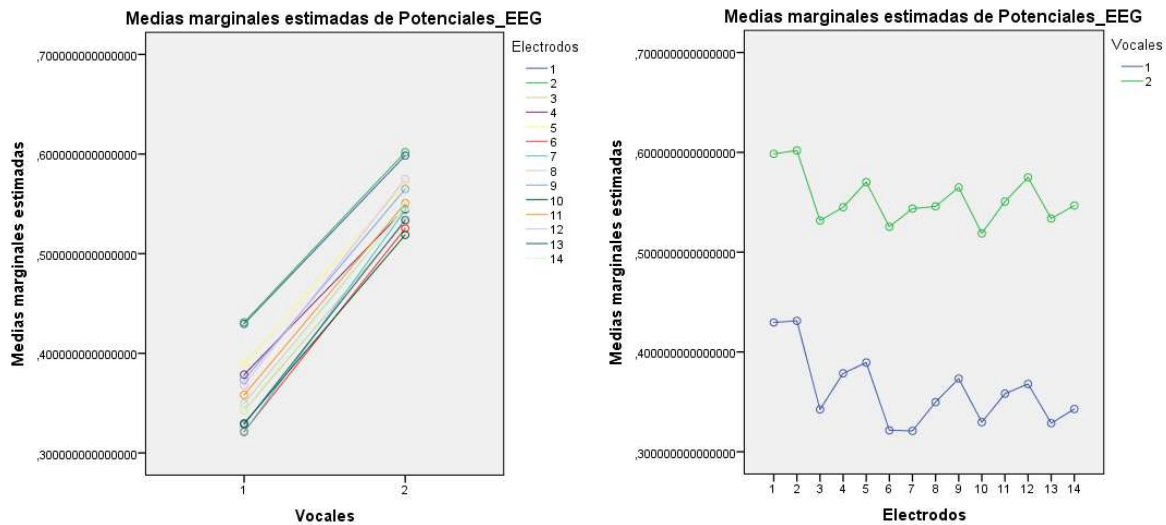


Figura 15. Gráficas de resultados IMF5 comparando el comportamiento de las vocales /a/ (1) y /u/ (2) en relación a los electrodos. A la izquierda y derecha se observa una aparente diferencia significativa según las pruebas multivariantes, sin embargo en las pruebas de efectos iter-sujetos solo evidencia variación en los electrodos.

Las pruebas de contraste intra-sujetos para la variable vocales (NIVEL 1 vs. NIVEL 2) presenta diferencias significativas entre las vocales /a/ ($M=0.18$) y /u/ ($M=0.12$). Este contraste es significativo, $F(1, 45) = 5.900$, $p = 0.019$, $\eta^2 = 0.116$. Para la variable Electrodo, se presentan diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 2 vs. NIVEL 3) el promedio de los PSD generados en el electrodo 2 ($M = 0.16$) con el PSD del electrodo 3 ($M = 0.14$). Este contraste es significativo, $F(1, 45) = 15.080$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.251$. El segundo contraste (NIVEL 3 vs. NIVEL 4) muestra un promedio de PSD en el electrodo 3 ($M = 0.14$) con el PSD del electrodo 4 ($M = 0.14$). Este contraste es significativo, $F(1, 45) = 10.158$, $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.184$. El tercer contraste (NIVEL 4 vs. NIVEL 5) señala un promedio de PSD en el electrodo 4 ($M = 0.14$) con el PSD del electrodo 5 ($M = 0.16$). Este contraste es significativo, $F(1, 45) = 10.288$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.186$. Un cuarto contraste (NIVEL 5 vs. NIVEL 6) señala un promedio de PSD en el electrodo 5 ($M = 0.16$) con el PSD del electrodo 6 ($M = 0.14$). Este contraste es significativo, $F(1, 45) = 18.353$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.290$. El quinto contraste (NIVEL 7 vs. NIVEL 8) señala un promedio de PSD en el electrodo 7 ($M = 0.14$) con el PSD del electrodo 8 ($M = 0.16$). Este contraste es significativo, $F(1, 45) = 6.621$, $p = 0.013$, $\eta^2 = 0.128$. El sexto contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señala un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.15$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.14$). Este contraste es significativo, $F(1, 45) = 30.223$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.402$. El séptimo contraste (NIVEL 12 vs. NIVEL 13) señala un promedio de PSD en el electrodo 12 ($M = 0.15$) con el PSD del electrodo 13 ($M = 0.14$). Este contraste es significativo, $F(1, 45) = 13.223$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.227$.

Finalmente, la prueba de contraste intrasujetos para la interacción vocales*electrodos presentó diferencias significativas entre las vocales /a/ ($M=0.18$) y /u/ ($M=0.12$) en relación a los electrodos

(NIVEL 2 vs. NIVEL 3) señalando un promedio de PSD en el electrodo 2 ($M = 0.16$) con el PSD del electrodo 3 ($M = 0.14$). Este contraste es significativo, $F(1,45) = 4.904$, $p = 0.032$, $\eta^2 = 0.098$. No se identificaron diferencias significativas entre las variables intrasujetos e intersujetos (ver figura 15).

Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los PSD de las vocales /a/ ($M = 0.18$) y /u/ ($M = 0.012$). Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los PSD de los siguientes electrodos: (i) El E6 ($M = 0.14$) es significativamente menor que el E2 ($M = 0.16$), E4 ($M = 0.14$), E9 ($M = 0.15$) y E12 ($M = 0.15$). (ii) el E10 ($M = 0.14$), es significativamente menor que el E9 ($M = 0.15$) y E12 ($M = 0.15$). (iii) el E5 ($M = 0.16$), es significativamente mayor que el E3 ($M = 0.14$) y E6 ($M = 0.14$). Finalmente (iv) el E2 ($M = 0.16$), es significativamente mayor que el E3 ($M = 0.14$).

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que existen diferencias significativas en la intersección $F(1,45) = 150.097$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0,769$. Por otro lado, no existen diferencias significativas entre el imaginario del habla de vocales en los PSD generados en los diferentes electrodos debido al estilo cognitivo de los sujetos. $F(2,45) = 0.24$, $p = 0.976$, $\eta^2 = 0,001$.

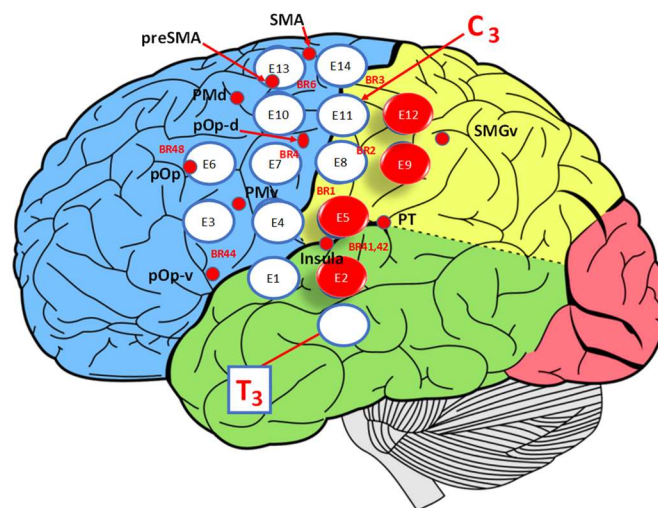


Figura 16. Gráfico indicando la configuración espacial de los electrodos 1 a 14 sobre el hemisferio Izquierdo (HI) en relación al IMF5 para las vocales /a/, /u/, en rojo de mayor a menor diferencias significativas los electrodos E12 y E9 (giro supramarginal ventral SMG-v, broadman BR 2,40 córtex somatosensorial asociativo). E2 y E5 (Broadman BR 22 córtex auditivo asociativo área de Wernicke y BR 41, 42, y 43 córtex auditivo primario y córtex gustativo).

A manera de conclusión en relación al IMF5 y las vocales /a/, /u/, se resalta la actividad del electrodo 2 ubicado en el área de broadman BR22 o área de Wernicke sobre el giro temporal superior STG también denominado córtex auditivo asociativo. Así como el electrodo 5 ubicado sobre el área Spt Fisura de Silvio en el límite parieto-temporal entre la ínsula y las áreas de broadman 41, 42 y 43 correspondientes al córtex auditivo primario y asociativo y córtex gustativo respectivamente. Los electrodos E12 y E9 sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución

supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v. Según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2007), el electrodo 2 y 5 se encuentra sobre la vía ventral del procesamiento del habla relacionado con los procesos de comprensión del lenguaje, mientras que los electrodos E12, E9 se encuentran sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensoriomotora (ver figura 16).

4.3.8. Reporte de resultados IMF 5 Total /a/, /e/, /i/, /o/, /u/

El promedio de la prueba EFT de la muestra fue de 10.59; la desviación estándar (DE=3.66). Sobre un puntaje máximo de 18; el valor mínimo fue de 1 y el valor máximo de 18 puntos. Los sujetos fueron agrupados en Dependientes de Campo (DC), intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC), definiendo terciles para el puntaje total en la prueba. De esta forma se identificaron tres rangos de puntajes a saber: (a) 17 sujetos DC (primer tercil), (b) 21 sujetos IntC (segundo tercil), y (c) 13 sujetos IC (tercer tercil). Se excluyeron un total de 19 sujetos todos debido a que no se incluyen en ningún tercil (65,26,50,21,30,35,48,27,53,67,69,55,16,54,22,57,32,60,4) (ver tablas 15 y 16).

Tabla 15. Factores inter-sujetos con la distribución de sujetos por estilo cognitivo en la dimensión DIC y sus respectivas Medias y Desviaciones Estándar (DS) ponderadas para las vocales /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/ correspondiente al IMF 5.

Factores inter-sujetos	Etiqueta de valor	N	
Agrupación por percentil EFT	1	Dependiente (DC)	17
	2	Intermedio (IntC)	21
	3	Independiente (IC)	13

/a/	PROM		/e/	PROM		/i/	PROM		/o/	PROM		/u/	PROM	
	EFT	Media		DS	EFT		Media	DS		EFT	Media		DS	EFT
DC	0,16	0,10	DC	0,19	0,36	DC	0,24	0,57	DC	0,17	0,17	DC	0,13	0,14
IntC	0,23	0,22	IntC	0,24	0,49	IntC	0,21	0,30	IntC	0,14	0,12	IntC	0,12	0,06
IC	0,28	0,39	IC	0,11	0,07	IC	0,15	0,10	IC	0,17	0,20	IC	0,11	0,09
Total	0,22	0,26	Total	0,19	0,45	Total	0,20	0,41	Total	0,16	0,16	Total	0,12	0,10

La prueba de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad fue violado. Los datos muestran que el efecto principal de los PSD en las vocales es: ($X(9) = 62.363, p < 0,05$). Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = .64$). Los PSD en los electrodos es: ($X(90) = 1900.752, p < 0,05$). Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = .210$). Las pruebas multivariantes indican que existen diferencias significativas entre vocales [Traza de Pillai = 0.193, $F(4,45) = 2.686, p < 0.001, \eta^2 = 0,325$] y los PSD de los electrodos [Traza de Pillai = 0.551, $F(13,36) = 3.744, p = 0.002, \eta^2 = 0,551$]. Sin embargo, no existe interacciones dobles significativa entre las variables intra-sujetos e inter-sujetos estilo cognitivo, lo que sugiere que los PSD registrados en los 14 electrodos solo explica la relación entre electrodos y vocales entre las vocales abiertas y cerradas en el caso de las vocales /a/ y /u/. Las pruebas de efectos intra-sujetos no reporta diferencias significativas con dobles interacciones o entre vocales y electrodos (ver figura 18).

Tabla 16. Resultados de PSD del imaginario del habla de las vocales /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/ en cada electrodo para el IMF 5 y su distribución de medias y desviación estándar de acuerdo al estilo cognitivo Dependiente de Campo DC, Intermedio IntC e Independiente de Campo IC.

/a/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0.19	0.19	0.19	0.16	0.15	0.10	0.16	0.10	0.16	0.10	0.15	0.09	0.15	0.09	0.17	0.09	0.16	0.10	0.15	0.09	0.16	0.09	0.16	0.09	0.15	0.08	0.15	0.09
IntC	0.33	0.64	0.28	0.39	0.23	0.29	0.25	0.32	0.22	0.15	0.20	0.16	0.20	0.14	0.21	0.14	0.21	0.13	0.20	0.13	0.21	0.14	0.21	0.14	0.20	0.14	0.21	0.14
IC	0.32	0.37	0.26	0.32	0.25	0.32	0.25	0.33	0.28	0.37	0.27	0.41	0.28	0.39	0.30	0.41	0.30	0.45	0.27	0.41	0.29	0.41	0.30	0.43	0.28	0.41	0.28	0.42
Total	0.28	0.46	0.24	0.31	0.21	0.25	0.22	0.27	0.22	0.22	0.20	0.23	0.20	0.22	0.22	0.22	0.22	0.25	0.20	0.23	0.21	0.23	0.22	0.24	0.20	0.23	0.21	0.24
/e/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
DC	0.15	0.22	0.15	0.21	0.14	0.23	0.14	0.21	0.15	0.21	0.14	0.21	0.15	0.22	0.15	0.21	0.15	0.22	0.14	0.21	0.17	0.22	0.15	0.21	0.70	0.31	0.15	0.21
IntC	0.26	0.50	0.24	0.41	0.16	0.12	0.19	0.28	0.21	0.28	0.13	0.07	0.86	3.35	0.43	1.19	0.16	0.12	0.14	0.08	0.19	0.20	0.15	0.07	0.15	0.10	0.14	0.07
IC	0.13	0.09	0.12	0.08	0.11	0.06	0.11	0.06	0.12	0.08	0.11	0.06	0.11	0.06	0.11	0.07	0.12	0.07	0.10	0.06	0.11	0.06	0.12	0.07	0.11	0.06	0.11	0.06
Total	0.19	0.35	0.18	0.29	0.14	0.15	0.16	0.22	0.17	0.22	0.13	0.13	0.43	2.15	0.26	0.78	0.15	0.15	0.13	0.13	0.16	0.18	0.14	0.13	0.32	1.33	0.13	0.13
/i/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
DC	0.21	0.47	0.20	0.45	0.20	0.47	0.20	0.45	0.65	1.88	0.20	0.47	0.24	0.48	0.20	0.45	0.21	0.47	0.19	0.45	0.20	0.46	0.20	0.47	0.31	0.64	0.20	0.46
IntC	0.19	0.13	0.18	0.12	0.17	0.13	0.17	0.11	0.35	0.87	0.15	0.12	0.27	0.56	0.48	1.46	0.17	0.11	0.15	0.10	0.17	0.14	0.17	0.14	0.15	0.10	0.16	0.11
IC	0.16	0.10	0.14	0.10	0.13	0.09	0.13	0.09	0.15	0.11	0.13	0.09	0.13	0.09	0.14	0.09	0.15	0.09	0.13	0.08	0.14	0.09	0.14	0.09	0.20	0.24	0.14	0.08
Total	0.19	0.28	0.18	0.27	0.17	0.28	0.17	0.27	0.40	1.21	0.16	0.28	0.22	0.45	0.30	0.97	0.18	0.28	0.16	0.26	0.17	0.28	0.18	0.28	0.22	0.39	0.17	0.27
/o/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
DC	0.18	0.17	0.19	0.18	0.15	0.15	0.16	0.15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.16	0.23	0.30	0.17	0.16	0.15	0.15	0.20	0.24	0.16	0.16	0.15	0.16	0.15	0.16	0.16
IntC	0.15	0.11	0.14	0.09	0.13	0.11	0.14	0.10	0.14	0.10	0.12	0.09	0.22	0.35	0.13	0.10	0.13	0.10	0.13	0.10	0.14	0.12	0.14	0.11	0.13	0.10	0.13	0.11
IC	0.15	0.19	0.16	0.19	0.16	0.19	0.15	0.18	0.16	0.20	0.16	0.19	0.17	0.21	0.21	0.27	0.17	0.19	0.16	0.18	0.20	0.25	0.17	0.19	0.16	0.19	0.16	0.19
Total	0.16	0.15	0.16	0.15	0.15	0.14	0.15	0.14	0.15	0.14	0.14	0.18	0.26	0.18	0.23	0.15	0.15	0.14	0.14	0.17	0.20	0.15	0.15	0.14	0.14	0.15	0.14	0.15
/u/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
DC	0.13	0.13	0.14	0.13	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.13	0.12	0.13	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.13	0.14	0.17	0.24	0.13	0.14	0.12	0.11	0.13	0.14
IntC	0.13	0.09	0.13	0.08	0.11	0.05	0.12	0.06	0.12	0.06	0.11	0.05	0.11	0.05	0.15	0.14	0.12	0.05	0.11	0.05	0.12	0.06	0.12	0.05	0.11	0.06	0.11	0.05
IC	0.12	0.08	0.12	0.08	0.11	0.08	0.11	0.08	0.14	0.18	0.11	0.08	0.11	0.08	0.11	0.07	0.12	0.08	0.11	0.08	0.11	0.07	0.11	0.08	0.11	0.07	0.11	0.07
Total	0.13	0.10	0.13	0.10	0.11	0.09	0.12	0.09	0.13	0.12	0.11	0.09	0.11	0.09	0.14	0.13	0.12	0.10	0.11	0.09	0.13	0.15	0.12	0.09	0.11	0.08	0.12	0.09

Las pruebas de contraste intra-sujetos para la variable vocales /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/ no presenta diferencias significativas. Para la variable Electrodo, se presentan diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 2 vs. NIVEL 3) el promedio de los PSD generados en el electrodo 2 ($M = 0.18$) con el PSD del electrodo 3 ($M = 0.15$). Este contraste es significativo, $F(2,48) = 4.932$, $p = 0.031$, $\eta^2 = 0.093$. El segundo contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) muestra un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.16$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.15$). Este contraste es significativo, $F(2,48) = 24.891$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.341$. El tercer contraste (NIVEL 10 vs. NIVEL 11) señala un promedio de PSD en el electrodo 10 ($M = 0.15$) con el PSD del electrodo 11 ($M = 0.17$). Este contraste es significativo, $F(2,48) = 6.554$, $p = 0.014$, $\eta^2 = 0.120$. Finalmente, se encontraron diferencias significativas en las interacciones entre vocales, electrodos y estilos cognitivos para las vocales /o/ ($M = 0.16$) y /u/ ($M = 0.12$) en relación a los electrodos E9 ($M = 0.16$) y E10 ($M = 0.15$). Este contraste es significativo, $F(2,48) = 5.451$, $p = 0.007$, $\eta^2 = 0.185$.

Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los PSD de las vocales /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/. Por otro lado, si existen diferencias significativas entre los electrodos: (i) E9 ($M = 0.16$) es significativamente mayor que el E6 ($M = 0.15$) y E10 ($M = 0.15$). (ii) el E12 ($M = 0.16$), es significativamente menor que el E6 ($M = 0.15$) y E10 ($M = 0.15$). No se presentan diferencias significativas en las interacciones dobles (ver figura 18).

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que existen diferencias significativas en la intersección de los PSD generados en los diferentes electrodos debido al efecto sobre las vocales. $F(1,48) = 84.636$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.638$. El NEFT en esta prueba no reporta diferencias $F(2,48) = 0.125$, $p = 0.883$, $\eta^2 = 0.005$.

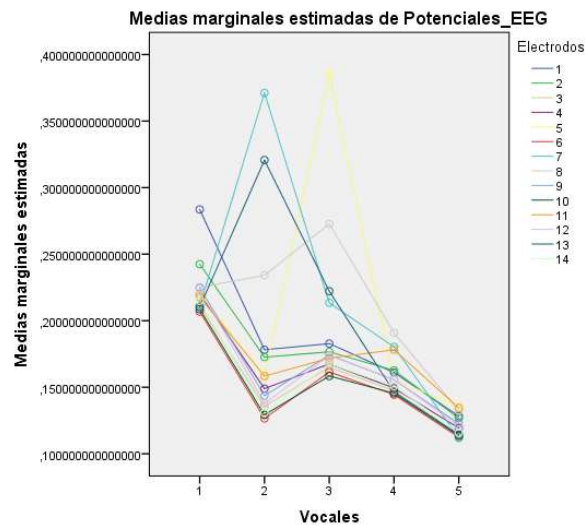


Figura 18. Gráfica resultados IMF5 medias marginales estimadas de PSD de las vocal /a/, /e/, /i/, /o/, /u/ en cada uno de los electrodos sobre el hemisferio izquierdo (HI) evidenciando diferencias significativas entre electrodos y las vocales /a/ (1) y /u/ (5).

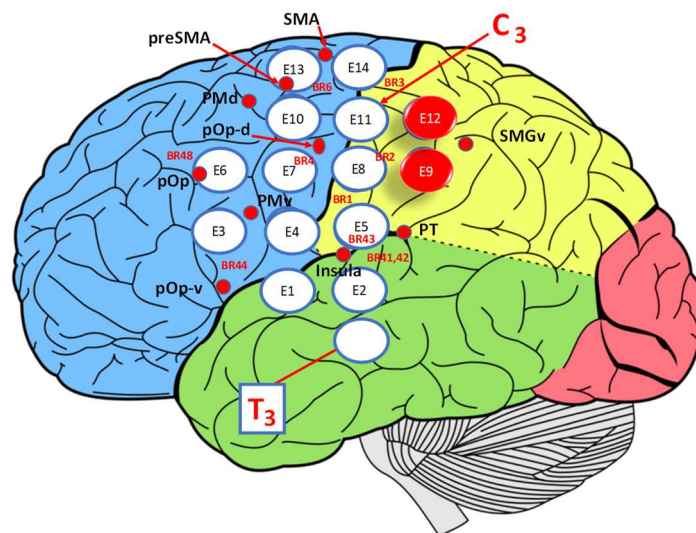


Figura 19. Gráfico indicando la configuración espacial de los electrodos1 al 14 sobre el hemisferio Izquierdo (HI) en relación al IMF5 para las vocales /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/ en rojo de mayor a menor diferencias significativas los electrodos E9 y E12 (giro supramarginal ventral SMG-v, broadman BR 2 y 40 córtex somatosensorial asociativo).

A manera de conclusión en relación al IMF4 y las vocales /a/, /e/, /i/, /o/, /u/, se resalta la actividad de los electrodos E12 y E9 sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v muestran las más importantes diferencias significativas. Según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2007), los electrodos E9 y E12 se encuentran sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensoria motora (ver figura 19).

4.3.9. Reporte de resultados IMF 6 /a/, /u/

El promedio de la prueba EFT de la muestra fue de 10.48; la desviación estándar (DE=3.7). Sobre un puntaje máximo de 18; el valor mínimo fue de 1 y el valor máximo de 18 puntos. Los sujetos fueron agrupados en Dependientes de Campo (DC), intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC), definiendo terciles para el puntaje total en la prueba. De esta forma se identificaron tres rangos de puntajes a saber: (a) 17 sujetos DC (primer tercil), (b) 19 sujetos IntC (segundo tercil), y (c) 12 sujetos IC (tercer tercil). Se excluyeron un total de 22 sujetos de los cuales 18 se reconocieron como casos atípicos (21,65,30,26,53,67,22,55,54,57,27,48,62,35,49,33,60) y 4 por no incluirse en ningún tercil (50,22,27,4) (ver tablas 17 y 18).

Tabla 17. Factores inter-sujetos con la distribución de sujetos por estilo cognitivo en la dimensión DIC y sus respectivas Medias y Desviaciones Estándar (DS) ponderadas para la relación vocal abierta y cerrada /a/ y /u/ correspondiente al IMF 6.

Factores inter-sujetos	Etiqueta de valor	N	/a/		/u/				
			EFT	PROM	EFT	PROM			
Agrupación por percentil EFT	1	Dependiente (DC)	17	DC	0,11	0,10	DC	0,07	0,08
	2	Intermedio (IntC)	19	IntC	0,13	0,13	IntC	0,08	0,07
	3	Independiente (IC)	12	IC	0,24	0,35	IC	0,08	0,09
			Total	0,15	0,21	Total	0,08	0,08	

Tabla 18. Resultados de PSD del imaginario del habla de las vocales /a/ y /u/ en cada electrodo para el IMF 6 y su distribución de medias y desviación estándar de acuerdo al estilo cognitivo Dependiente de Campo DC, Intermedio IntC e Independiente de Campo IC.

/a/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,15	0,23	0,14	0,20	0,11	0,09	0,11	0,10	0,11	0,09	0,10	0,08	0,10	0,07	0,11	0,07	0,11	0,08	0,09	0,07	0,10	0,07	0,10	0,07	0,09	0,06	0,09	0,06
IntC	0,17	0,25	0,16	0,19	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11	0,13	0,12	0,13	0,12	0,12	0,11	0,13	0,12	0,13	0,13	0,13	0,11	0,13	0,12
IC	0,23	0,29	0,23	0,33	0,21	0,29	0,22	0,31	0,23	0,33	0,23	0,31	0,23	0,32	0,27	0,38	0,26	0,40	0,24	0,35	0,26	0,39	0,26	0,39	0,26	0,42	0,27	0,44
Total	0,18	0,25	0,17	0,23	0,14	0,17	0,15	0,18	0,15	0,19	0,14	0,18	0,14	0,18	0,15	0,21	0,16	0,22	0,14	0,20	0,15	0,22	0,15	0,22	0,15	0,23	0,15	0,24
/u/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,09	0,09	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07	0,11	0,18	0,07	0,08	0,06	0,06	0,07	0,08
IntC	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,09	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07
IC	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,08	0,09	0,09	0,12	0,08	0,10	0,08	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,08	0,10	0,08	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,08	0,08
Total	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,12	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08

La prueba de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad fue violado. Los datos muestran que el efecto principal de los PSD en los electrodos es: $(X^2(90) = 1262.881, p < 0.05)$. Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = 0.16$). Las pruebas multivariantes indican que existen diferencias significativas en los PSD de las vocales /a/ y /u/ [Traza de Pillai = 0.127, $F(1,45) = 6.528, p = 0.014, \eta^2 = 0.127$] y los PSD de los electrodos [Traza de Pillai = 0.589, $F(13,33) = 3.632, p < 0.001, \eta^2 = 0.589$]. Sin embargo, no existe interacciones dobles significativa entre las variables intra-sujetos e inter-sujetos, lo que sugiere que los PSD registrados en los 14 electrodos depende del imaginario del imaginario del habla de las vocales (ver figura 20).

Las pruebas de efectos intra-sujetos muestra diferencias significativas para el habla imaginaria de vocales /a/, /u/ en los PSD con un $F(1,45) = 6.528, p = 0.014, \eta^2 = 0.127$. Sin embargo, no se reporta diferencias significativas entre electrodos o dobles interacciones intrasujetos con intersujetos (ver figura 20).

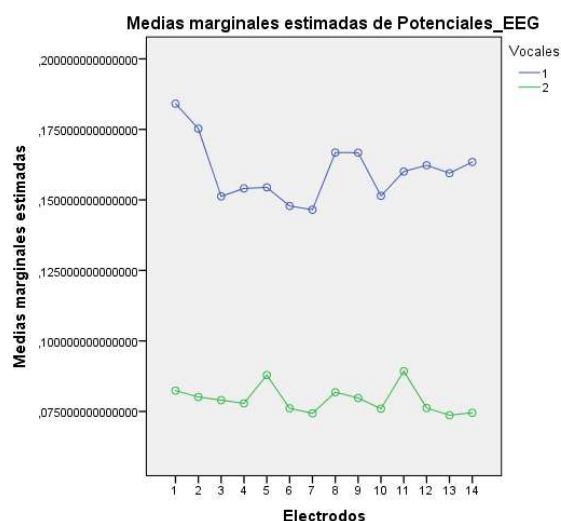


Figura 20. Gráficas de resultados IMF5 comparando el comportamiento de las vocales /a/ (1) y /u/ (2) en relación a los electrodos evidenciando diferencias significativas.

Las pruebas de contraste intra-sujetos para la variable vocales (NIVEL 1 vs. NIVEL 2) presenta diferencias significativas entre las vocales /a/ ($M=0.16$) y /u/ ($M=0.08$). Este contraste es significativo, $F(1,45) = 6.528$, $p = 0.014$, $\eta^2 = 0.127$. Para la variable Electrodo, se presentan diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 5 vs. NIVEL 6) el promedio de los PSD generados en el electrodo 5 ($M = 0.12$) con el PSD del electrodo 6 ($M = 0.11$). Este contraste es significativo, $F(1,45) = 5.991$, $p = 0.018$, $\eta^2 = 0.117$. El segundo contraste (NIVEL 7 vs. NIVEL 8) muestra un promedio de PSD en el electrodo 7 ($M = 0.11$) con el PSD del electrodo 8 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,45) = 15.676$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.258$. El tercer contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señala un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.12$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.11$). Este contraste es significativo, $F(1,45) = 16.584$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.269$. En relación a la interacción electrodo y estilo cognitivo se presentan diferencias significativas (NIVEL 12 Y NIVEL 13) señalando un promedio de PSD en el electrodo 12 ($M = 0.12$) con el PSD del electrodo 13 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(2,45) = 4.102$, $p = 0.023$, $\eta^2 = 0.154$. Finalmente, la prueba de contraste intrasujetos para la interacción vocales*electrodos presentó diferencias significativas entre las vocales /a/ ($M=0.18$) y /u/ ($M=0.12$) en relación a los electrodos (NIVEL 1 vs. NIVEL 2) señalando un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.12$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.11$). Este contraste es significativo, $F(1,45) = 4.974$, $p = 0.031$, $\eta^2 = 0.100$.

Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los PSD de las vocales /a/ ($M = 0.16$) y /u/ ($M = 0.008$). De igual manera, en los siguientes electrodos: (i) El E8 ($M = 0.12$) es significativamente mayor que el E7 ($M = 0.11$) y E10 ($M = 0.11$). (ii) el E9 ($M = 0.12$), es significativamente mayor que el E10 ($M = 0.11$) (ver figura 20).

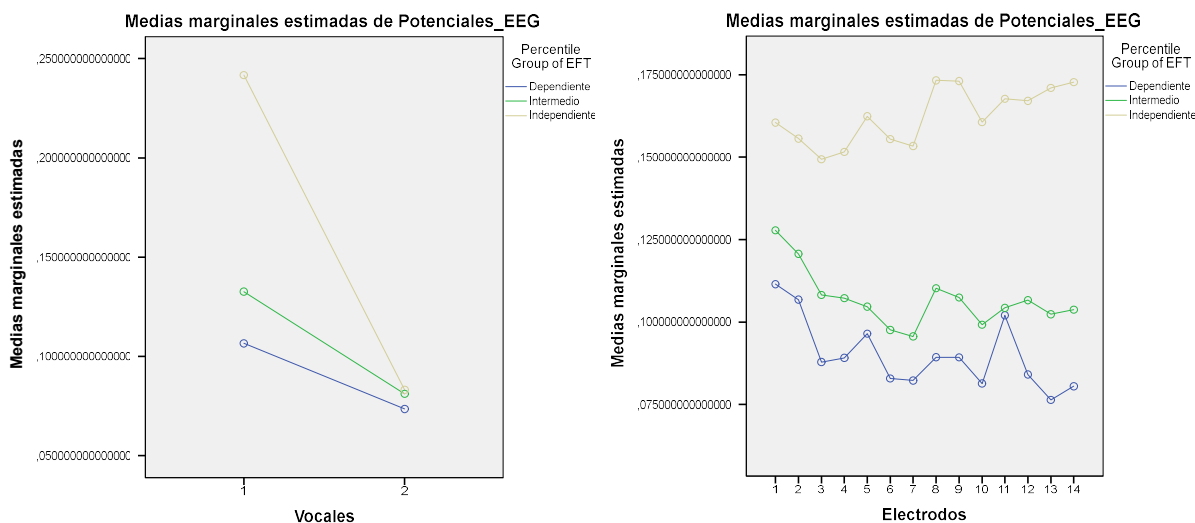


Figura 21. Gráficas de resultados IMF6 comparando el comportamiento de las vocales /a/ (1) y /u/ (2) en relación a los estilos cognitivos identificando que no hay diferencias significativas (izq), junto con la comparación entre electrodos y estilo cognitivo observando una aparente diferenciación de los IC con los IntC y DC, sin embargo, no son suficientemente significativas.

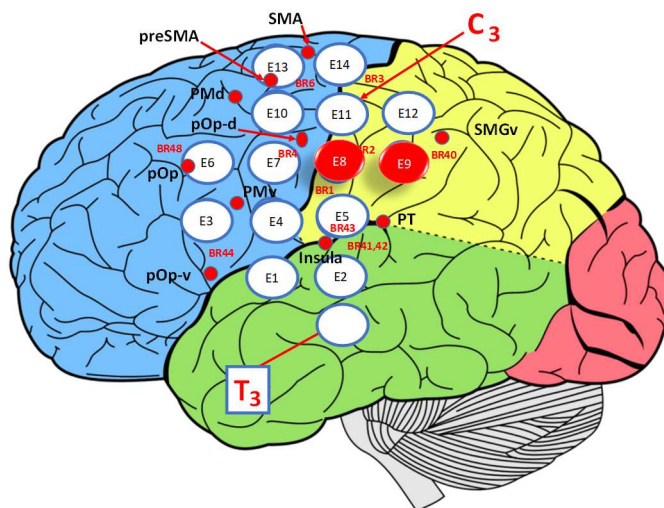


Figura 22. Gráfico indicando la configuración espacial de los electrodos 1 al 14 sobre el hemisferio Izquierdo (HI) en relación al IMF6 para las vocales /a/, /u/, en rojo de mayor a menor diferencias significativas los electrodos E9 y E8 (giro supramarginal ventral SMG-v, broadman BR 1, 2 y 40 córtex somatosensorial primario y asociativo).

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que existen diferencias significativas en la intersección $F(1,45) = 59.722, p < 0.001, \eta^2 = 0,570$. Por otro lado, no existen diferencias significativas entre el imaginario del habla de vocales en los PSD generados en los diferentes electrodos debido al estilo cognitivo de los sujetos. $F(2,45) = 1.752, p = 0.185, \eta^2 = 0,072$ (ver figura 21).

A manera de conclusión en relación al IMF6 y las vocales /a/, /u/, se resalta la actividad del electrodo E8, el cual presenta actividad diferencial en el área de Broadman BR 1 denominada

córtex somatosensorial primario. Así como el electrodo E9, manifestando actividad sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v. Según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2007), el electrodo 8 y 9 se encuentran sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensoriomotora (ver figura 22).

4.3.10. Reporte de resultados IMF 7 /a/, /o/

El promedio de la prueba EFT de la muestra fue de 10.95; la desviación estándar (DE=3.35). Sobre un puntaje máximo de 18; el valor mínimo fue de 3 y el valor máximo de 18 puntos. Los sujetos fueron agrupados en Dependientes de Campo (DC), intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC), definiendo terciles para el puntaje total en la prueba. De esta forma se identificaron tres rangos de puntajes a saber: (a) 14 sujetos DC (primer tercil), (b) 20 sujetos IntC (segundo tercil), y (c) 13 sujetos IC (tercer tercil). Se excluyeron un total de 23 sujetos de los cuales 15 se reconocieron como casos atípicos (48,55,26,60,67,21,46,54,24,53,27,65,40,35,3) y 8 por no incluirse en ningún tercil (22,32,69,4,16,57,30,60) (ver tabla 19 y 20).

Tabla 19. Factores inter-sujetos con la distribución de sujetos por estilo cognitivo en la dimensión DIC y sus respectivas Medias y Desviaciones Estándar (DS) ponderadas para la relación vocal abierta y cerrada /a/ y /o/ correspondiente al IMF 7.

Factores inter-sujetos	Etiqueta de valor	N	/a/		/o/				
			EFT	PROM	EFT	PROM			
Agrupación por percentil EFT	1	Dependiente (DC)	14						
			DC	0,20	0,20	DC	0,12	0,15	
	2	Intermedio (IntC)	20	IntC	0,17	0,18	IntC	0,12	0,13
	3	Independiente (IC)	13	IC	0,29	0,30	IC	0,12	0,11
			Total	0,21	0,23	Total	0,12	0,13	

La prueba de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad fue violado. Los datos muestran que el efecto principal de los PSD en los electrodos es: $(X(90) = 965.283, p < 0.05)$. Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = 0.14$). Las pruebas multivariantes indican que existen diferencias significativas en las vocales /a/, /o/ [Traza de Pillai = 0.134, $F(1,44) = 6.805, p = 0.012, \eta^2 = 0.134$] y los PSD de los electrodos [Traza de Pillai = 0.678, $F(13,32) = 5.178, p < 0.001, \eta^2 = 0.678$]. Sin embargo, no existe diferencias significativas entre dobles interacciones, ni relación con el estilo cognitivo (ver figura 23).

Las pruebas de efectos intra-sujetos presenta diferencias significativas en las vocales /a/, /o/ con un $F(1,44) = 6.805, p = 0.012, \eta^2 = 0.134$. De igual manera, se evidencian diferencias significativas para electrodos con un $F(1.865,82.041) = 2.159, p = 0.125, \eta^2 = 0.047$. No se evidencian diferencias significativas entre interacciones dobles intrasujeto e intersujetos (ver figuras 23 y 24).

Tabla 20. Resultados de PSD del imaginario del habla de las vocales /a/ y /o/ en cada electrodo para el IMF 7 y su distribución de la media y desviación estandar de acuerdo al estilo cognitivo Dependiente de Campo DC, Intermedio IntC e Independiente de Campo IC.

/a/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0.21	0.21	0.20	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.21	0.20	0.21	0.21	0.19	0.20	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.20
IntC	0.23	0.39	0.20	0.25	0.17	0.18	0.18	0.20	0.17	0.14	0.14	0.13	0.14	0.13	0.16	0.15	0.17	0.16	0.15	0.14	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
IC	0.32	0.32	0.29	0.30	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.29	0.27	0.28	0.27	0.27	0.32	0.31	0.32	0.34	0.28	0.29	0.29	0.30	0.30	0.31	0.28	0.30	0.29	0.32
Total	0.25	0.32	0.22	0.25	0.20	0.21	0.21	0.22	0.21	0.21	0.19	0.20	0.19	0.20	0.22	0.23	0.22	0.24	0.20	0.21	0.21	0.22	0.21	0.23	0.20	0.22	0.21	0.23
/o/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0.13	0.16	0.12	0.14	0.12	0.15	0.12	0.15	0.11	0.14	0.12	0.15	0.11	0.14	0.12	0.15	0.13	0.16	0.11	0.15	0.12	0.15	0.12	0.15	0.12	0.14	0.12	0.14
IntC	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.14	0.12	0.13	0.13	0.14	0.12	0.12	0.15	0.16	0.14	0.13	0.13	0.14	0.12	0.13	0.12	0.13	0.12	0.14	0.11	0.12	0.12	0.14
IC	0.12	0.11	0.12	0.10	0.12	0.10	0.12	0.10	0.12	0.11	0.12	0.10	0.11	0.10	0.16	0.15	0.12	0.11	0.11	0.10	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.10	0.11	0.10
Total	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.13	0.12	0.13	0.12	0.13	0.12	0.12	0.13	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.13	0.12	0.13	0.12	0.13	0.11	0.12	0.12	0.13

Las pruebas de contraste intra-sujetos para la variable vocales, el contraste (NIVEL 1 vs NIVEL 2). Los datos muestran que los valores promedios de los PSD en la vocal /a/ ($M = 0.22$) difieren de los valores promedios de los PSD de la vocal /o/ ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 6.805$, $p = 0.012$, $\eta^2 = 0.134$. La variable Electrodo, se presentan diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 1 vs. NIVEL 2) el promedio de los PSD generados en el electrodo 1 ($M = 0.19$) con el PSD del electrodo 2 ($M = 0.17$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 4.378$, $p = 0.042$, $\eta^2 = 0.090$. El segundo contraste (NIVEL 5 vs. NIVEL 6) muestra un promedio de PSD en el electrodo 5 ($M = 0.17$) con el PSD del electrodo 6 ($M = 0.16$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 4.977$, $p = 0.031$, $\eta^2 = 0.102$. El tercer contraste (NIVEL 7 vs. NIVEL 8) señala un promedio de PSD en el electrodo 7 ($M = 0.16$) con el PSD del electrodo 8 ($M = 0.18$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 9.076$, $p = 0.004$, $\eta^2 = 0.171$. Un cuarto contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señala un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.18$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.16$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 32.699$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.426$. El quinto contraste (NIVEL 10 vs. NIVEL 11) señala un promedio de PSD en el electrodo 10 ($M = 0.16$) con el PSD del electrodo 11 ($M = 0.17$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 7.555$, $p = 0.009$, $\eta^2 = 0.147$. El sexto contraste (NIVEL 12 vs. NIVEL 13) señala un promedio de PSD en el electrodo 12 ($M = 0.17$) con el PSD del electrodo 13 ($M = 0.16$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 5.076$, $p = 0.029$, $\eta^2 = 0.103$. Con relación a la interacción entre electrodos y estilo cognitivo se evidenció un contraste (NIVEL 7 vs. NIVEL 8) señala un promedio de PSD en el electrodo 7 ($M = 0.16$) con el PSD del electrodo 8 ($M = 0.18$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 4.225$, $p = 0.021$, $\eta^2 = 0.161$. Finalmente, para la interacción vocales*electrodos se evidenció el contraste (NIVEL 3 vs. NIVEL 4) señalando un promedio de PSD en el electrodo 3 ($M = 0.16$) con el PSD del electrodo 4 ($M = 0.18$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 4.939$, $p = 0.031$, $\eta^2 = 0.10$. Así como el contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señalando un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.18$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.16$). Este contraste es significativo, $F(1,44) = 6.123$, $p = 0.017$, $\eta^2 = 0.122$.

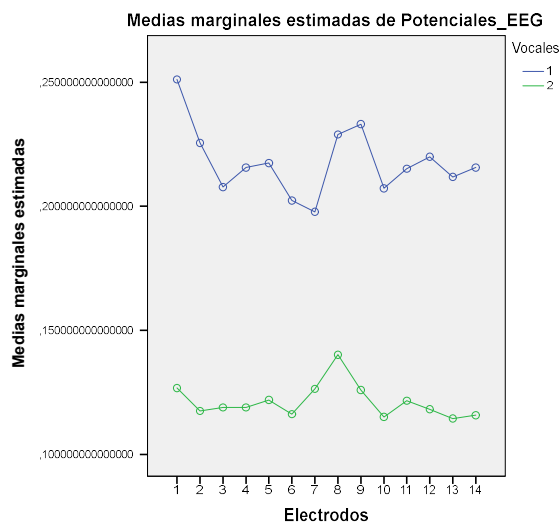


Figura 23. Gráficas de resultados IMF7 comparando el comportamiento de las vocales /a/ (1) y /o/ (2) en relación a los electrodos. Se pueden evidenciar diferencias significativas.

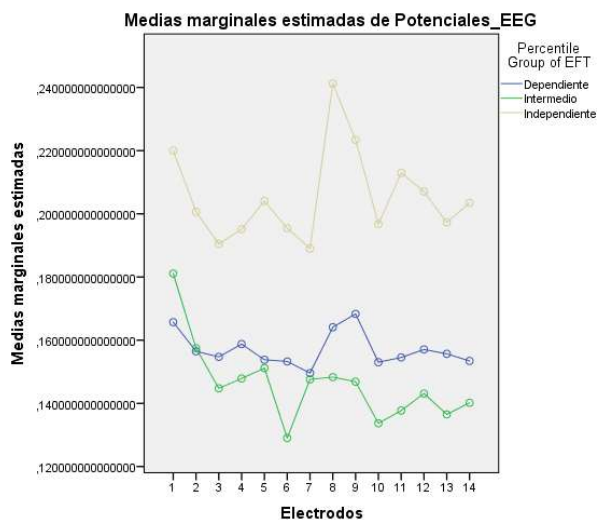


Figura 24. Gráficas de resultados IMF7 comparando el comportamiento el estilo cognitivo EFT en relación a los electrodos. Se evidencia una tendencia a diferenciarse el grupo IC de los grupos IntC y DC aunque no es suficientemente significativa.

Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los PSD de las vocales /a/ ($M = 0.22$) y /o/ ($M = 0.012$). De igual manera se evidencian diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los PSD de los siguientes electrodos: (i) El E8 ($M = 0.18$) es significativamente mayor que el E6 ($M = 0.16$), E10 ($M = 0.16$), E11 ($M = 0.17$) y E13 ($M = 0.16$). (ii) el E9 ($M = 0.18$), es significativamente mayor que el E6 ($M = 0.16$), E10 ($M = 0.16$), E12 ($M = 0.17$), E13 ($M = 0.16$) y E14 ($M = 0.17$) (ver figura 23).

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que existen diferencias significativas en la intersección con un $F(1,44) = 81.504$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0,649$. Por otro lado, el estilo cognitivo no presenta diferencias significativas presentando un $F(2,44) = 0.916$, $p = 0.408$, $\eta^2 = 0,040$ (ver figura 24).

A manera de conclusión en relación al IMF7 y las vocales /a/, /o/, se resalta la actividad del electrodo E8, el cuál presenta actividad diferencial en la área de Broadman BR 1 denominada córtex somatosensorial primario. Así como el electrodo E9, manifestando actividad sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v. Según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2007), el electrodo 8 y 9 se encuentran sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensoriomotora (ver figura 25).

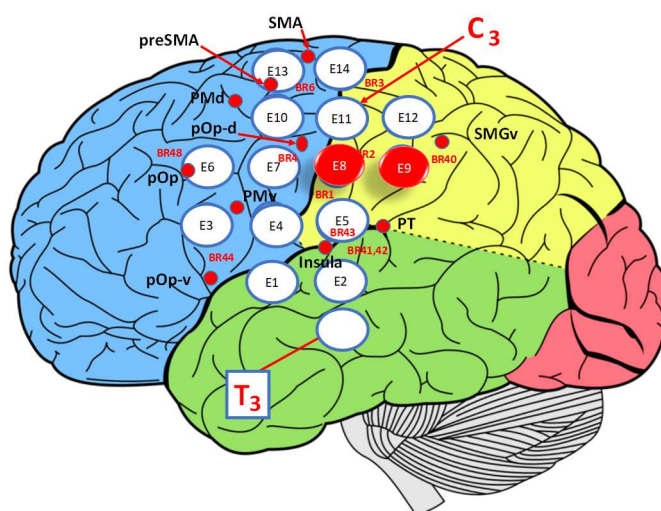


Figura 25. Gráfico indicando la configuración espacial de los electrodos 1 al 14 sobre el hemisferio Izquierdo (HI) en relación al IMF7 para las vocales /a/, /o/, en rojo de mayor a menor diferencias significativas los electrodos E9 y E8 (giro supramarginal ventral SMG-v, broadman BR 1, 2 y 40 córtex somatosensorial primario y asociativo).

4.3.11. Reporte de resultados IMF 7 /a/, /u/

El promedio de la prueba EFT de la muestra fue de 10.61; la desviación estándar (DE=3.7). Sobre un puntaje máximo de 18; el valor mínimo fue de 1 y el valor máximo de 18 puntos. Los sujetos fueron agrupados en Dependientes de Campo (DC), intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC), definiendo terciles para el puntaje total en la prueba. De esta forma se identificaron tres rangos de puntajes a saber: (a) 16 sujetos DC (primer tercil), (b) 20 sujetos IntC (segundo tercil), y (c) 13 sujetos IC (tercer tercil). Se excluyeron un total de 23 sujetos de los cuales 15 se reconocieron como casos atípicos (65,48,24,55,21,53,67,26,35,54,32,46,27) y 8 por no incluirse en ningún tercil (69,57,30,16,50,22,60,4) (ver tabla 21 y 22).

La prueba de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad fue violado. Los datos muestran que el efecto principal de los PSD en los electrodos es: $(X(90) = 1637.437, p < 0.05)$. Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = 0.100$). Las pruebas multivariantes

indican que existen diferencias significativas en las vocales /a/, /u/ [Traza de Pillai = 0.141, $F(1,46) = 7.521$, $p=0.009$, $\eta^2 = 0.141$] y los PSD de los electrodos [Traza de Pillai = 0.650, $F(13,34) = 4.856$, $p<0.001$, $\eta^2 = 0.650$]. Sin embargo, no existe diferencias significativas entre dobles interacciones ni relación con el estilo cognitivo (ver figura 26).

Tabla 21. Factores inter-sujetos con la distribución de sujetos por estilo cognitivo en la dimensión DIC y sus respectivas Medias y Desviaciones Estándar (DS) ponderadas para la relación vocal abierta y cerrada /a/ y /u/ correspondiente al IMF 7.

Factores inter-sujetos	Etiqueta de valor	N	/a/			/u/		
			EFT	Media	DS	EFT	Media	DS
Agrupación por percentil EFT	1	14	DC	0,25	0,33	DC	0,09	0,10
	2	20	IntC	0,17	0,18	IntC	0,12	0,12
	3	13	IC	0,29	0,30	IC	0,14	0,19
			Total	0,23	0,27	Total	0,12	0,13

Tabla 22. Resultados de PSD del imaginario del habla de las vocales/a/ y /u/ en cada electrodo para el IMF 7 y su distribución de la media y desviación estandar de acuerdo al estilo cognitivo Dependiente de Campo DC, Intermedio IntC e Independiente de Campo IC.

/a/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,41	0,87	0,36	0,73	0,24	0,30	0,25	0,32	0,24	0,31	0,22	0,24	0,21	0,23	0,24	0,24	0,24	0,26	0,20	0,21	0,21	0,23	0,21	0,22	0,20	0,20	0,20	0,20
IntC	0,23	0,39	0,20	0,25	0,17	0,18	0,18	0,20	0,17	0,14	0,14	0,13	0,14	0,13	0,16	0,15	0,17	0,16	0,15	0,14	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
IC	0,32	0,32	0,29	0,30	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,27	0,28	0,27	0,27	0,32	0,31	0,32	0,34	0,28	0,29	0,29	0,30	0,30	0,31	0,28	0,30	0,29	0,32
Total	0,31	0,57	0,27	0,47	0,22	0,24	0,23	0,27	0,23	0,25	0,20	0,22	0,20	0,21	0,23	0,24	0,23	0,25	0,20	0,21	0,21	0,23	0,22	0,23	0,20	0,22	0,21	0,23

/u/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,10	0,11	0,10	0,10	0,09	0,11	0,09	0,11	0,11	0,11	0,09	0,11	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09	0,10
IntC	0,12	0,10	0,12	0,10	0,12	0,11	0,11	0,10	0,12	0,10	0,11	0,10	0,11	0,10	0,16	0,23	0,12	0,11	0,11	0,10	0,13	0,14	0,11	0,10	0,12	0,15	0,11	0,10
IC	0,15	0,18	0,13	0,16	0,14	0,19	0,14	0,19	0,18	0,35	0,13	0,18	0,13	0,17	0,14	0,17	0,14	0,18	0,13	0,17	0,13	0,16	0,13	0,17	0,13	0,17	0,12	0,16
Total	0,12	0,13	0,11	0,12	0,11	0,13	0,11	0,13	0,13	0,20	0,11	0,13	0,11	0,12	0,13	0,18	0,12	0,13	0,11	0,12	0,11	0,13	0,11	0,12	0,11	0,13	0,11	0,12

Las pruebas de efectos intra-sujetos presenta diferencias significativas en las vocales /a/, /u/ con un $F(1,46) = 7.521$, $p=0.009$, $\eta^2 = 0.141$. De igual manera, se evidencian diferencias significativas para electrodos con un $F(1.294,59.53) = 2.229$, $p = 0.134$, $\eta^2 = 0.046$ (ver figura 41). No se evidencian diferencias significativas entre interacciones dobles intrasujeto e intersujetos (ver figura 26).

Las pruebas de contraste intra-sujetos para la variable vocales, el contraste (NIVEL 1 vs NIVEL 2). Los datos muestran que los valores promedios de los PSD en la vocal /a/ ($M = 0.23$) difieren de los valores promedios de los PSD de la vocal /u/ ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,46) = 7.521$, $p = 0.009$, $\eta^2 = 0.141$. La variable Electrodo, se presentan diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 1 vs. NIVEL 2) el promedio de los PSD generados en el electrodo 1 ($M = 0.22$) con el PSD del electrodo 2 ($M = 0.20$). Este contraste es significativo, $F(1,46) = 5.107$, $p = 0.029$, $\eta^2 = 0.100$. El segundo contraste (NIVEL 5 vs. NIVEL 6) muestra un promedio de PSD en el electrodo 5 ($M = 0.18$) con el PSD del electrodo 6 ($M = 0.16$). Este contraste es significativo, $F(1,46) = 5.786$, $p = 0.020$, $\eta^2 = 0.112$. El tercer contraste (NIVEL 6 vs. NIVEL 7) señala un promedio de PSD en el electrodo 6 ($M = 0.16$) con el PSD del electrodo 7 ($M = 0.16$). Este contraste es significativo, $F(1,46) = 5.032$, $p = 0.030$, $\eta^2 = 0.099$. Un cuarto contraste (NIVEL 7 vs. NIVEL 8) señala un promedio de PSD en el electrodo 7 ($M = 0.16$) con el PSD del electrodo 8 ($M = 0.19$). Este contraste es significativo, $F(1,46) = 9.986$, $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.178$. El quinto contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señala un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.18$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.16$). Este contraste es significativo, F

(1,46) = 29.972, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.395$. Finalmente, para la interacción vocales*electrodos se evidenció el contraste (NIVEL 3 vs. NIVEL 4) señalando un promedio de PSD en el electrodo 3 ($M = 0.17$) con el PSD del electrodo 4 ($M = 0.17$). Este contraste es significativo, $F(1,46) = 5.358$, $p = 0.025$, $\eta^2 = 0.104$. Así como el contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señalando un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.18$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.16$). Este contraste es significativo, $F(1,46) = 6.477$, $p = 0.014$, $\eta^2 = 0.123$.

Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los PSD de las vocales /a/ ($M = 0.23$) y /u/ ($M = 0.012$). De igual manera se evidencian diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los PSD del electrodo: (i) El E9 ($M = 0.18$) es significativamente mayor que el E6 ($M = 0.16$), E7 ($M = 0.16$), E10 ($M = 0.16$) y E12 ($M = 0.16$) (ver figura 26).

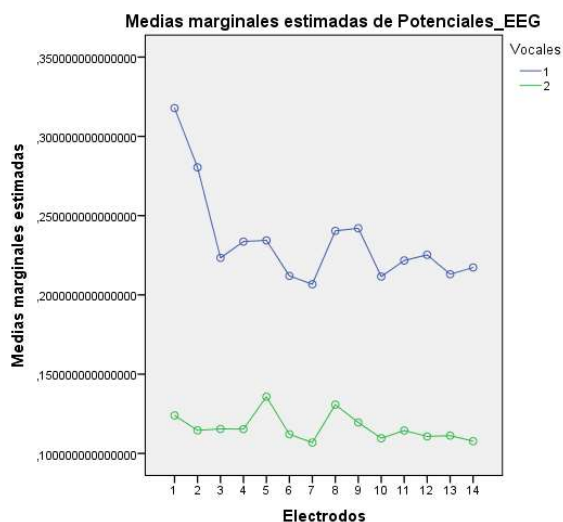


Figura 26. Gráficas de resultados IMF7 comparando el comportamiento de las vocales /a/ (1) y /u/ (2) en relación a los electrodos evidenciando diferencias significativas.

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que existen diferencias significativas en la intersección $F(1,46) = 77.810$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0,628$. Por otro lado, no existen diferencias significativas entre el imaginario del habla de vocales en los PSD generados en los diferentes electrodos debido al estilo cognitivo de los sujetos. $F(2,46) = 1.020$, $p = 0.369$, $\eta^2 = 0,042$ (ver figura 27).

A manera de conclusión en relación al IMF7 y las vocales /a/, /u/, se resalta la actividad del electrodo E9, el cual manifiesta actividad sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v. Según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2007), el electrodo E9 se encuentra sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensoriomotora (ver figura 28).

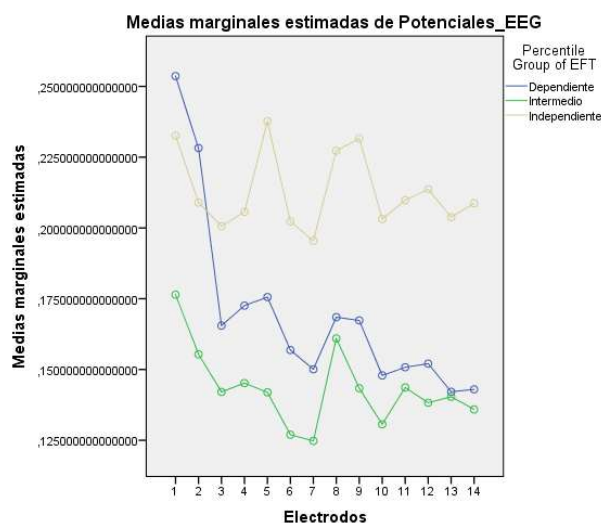


Figura 27. Gráficas de resultados IMF7 /a/, /u/ comparando el comportamiento de los electrodos en relación a los estilos cognitivos identificando que no hay diferencias significativas.

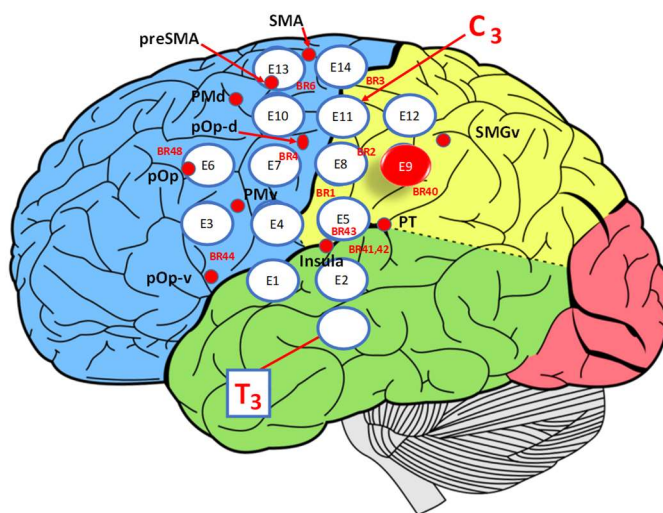


Figura 30. Gráfico indicando la configuración espacial de los electrodos 1 al 14 sobre el hemisferio Izquierdo (HI) en relación al IMF7 para las vocales /a/, /u/, en rojo diferencias significativas para el electrodo E9 (giro supramarginal SMG-v, broadman BR 2 y 40 córtex somatosensorial asociativo).

4.3.12. Reporte de resultados IMF 7 Total /a/, /e/, /i/, /o/, /u/

El promedio de la prueba EFT de la muestra fue de 10.59; la desviación estándar (DE=3.65). Sobre un puntaje máximo de 18; el valor mínimo fue de 1 y el valor máximo de 18 puntos. Los sujetos fueron agrupados en Dependientes de Campo (DC), intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC), definiendo terciles para el puntaje total en la prueba. De esta forma se identificaron tres rangos de puntajes a saber: (a) 17 sujetos DC (primer tercil), (b) 21 sujetos IntC (segundo tercil), y (c) 13 sujetos IC (tercer tercil). Se excluyeron un total de 19 sujetos todos debido a que no se

incluyen en ningún tercil (4,16,21,22,26,27,30,32,35,48,50,53,54,55,57,60,65,67,69) (ver tablas 23 y 24).

Tabla 2321. Factores inter-sujetos con la distribución de sujetos por estilo cognitivo en la dimensión DIC y sus respectivas Medias y Desviaciones Estándar (DS) ponderadas para las vocales /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/ correspondiente al IMF 7.

Factores inter-sujetos	Etiqueta de valor	N	
Agrupación por percentil EFT	1	Dependiente (DC)	17
	2	Intermedio (IntC)	21
	3	Independiente (IC)	13

	/a/		/e/		/i/		/o/		/u/	
	PROM	DS	PROM	DS	PROM	DS	PROM	DS	PROM	DS
DC	0,33	0,18	0,28	0,21	0,48	1,02	0,45	0,55	0,26	0,17
IntC	0,39	0,23	0,41	0,44	5,00	0,31	0,35	0,27	0,30	0,17
IC	0,46	0,30	0,31	0,21	0,32	0,26	0,40	0,40	0,27	0,14
Total	0,39	0,24	0,34	0,37	0,39	0,64	0,39	0,42	0,28	0,16

Tabla 24. Resultados de PSD del imaginario del habla de las vocales /a/,/e/,/i/,/o/ y /u/ en cada electrodo para el IMF 7 y su distribución de medias y desviación estándar de acuerdo al estilo cognitivo Dependiente de Campo DC, Intermedio IntC e Independiente de Campo IC.

/a/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,40	0,36	0,36	0,22	0,32	0,16	0,33	0,17	0,34	0,17	0,31	0,15	0,32	0,17	0,34	0,16	0,35	0,17	0,32	0,15	0,33	0,16	0,34	0,16	0,31	0,15	0,33	0,15
IntC	0,43	0,28	0,42	0,22	0,36	0,18	0,37	0,19	0,40	0,19	0,33	0,17	0,35	0,20	0,39	0,25	0,40	0,25	0,38	0,22	0,41	0,27	0,40	0,26	0,38	0,25	0,39	0,26
IC	0,48	0,26	0,44	0,23	0,43	0,24	0,42	0,25	0,44	0,27	0,43	0,32	0,44	0,31	0,48	0,34	0,49	0,35	0,44	0,33	0,47	0,33	0,48	0,34	0,46	0,32	0,46	0,34
Total	0,43	0,30	0,41	0,22	0,36	0,19	0,37	0,20	0,39	0,21	0,35	0,22	0,36	0,22	0,40	0,25	0,40	0,26	0,37	0,23	0,40	0,26	0,40	0,26	0,38	0,24	0,39	0,26

La prueba de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad fue violado. Los datos muestran que el efecto principal de los PSD en las vocales es: (X (9) =68.706, p< 0,05). Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = .60$). Los PSD en los electrodos es: (X (90) =1179.460, p< 0,05). Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = .195$). Las pruebas multivariantes indican que existen diferencias significativas entre vocales [Traza de Pillai = 0.325, F (4,45) = 5.420, p<0.001, $\eta^2 =0,325$] y los PSD de los electrodos [Traza de Pillai = 0.575, F (13,36) = 3.744, p=0.002, $\eta^2 =0,575$]. Sin embargo, no existe interacciones dobles significativa entre las variables intra-sujetos e inter-sujetos y el estilo cognitivo, lo que sugiere que los PSD registrados en los 14 electrodos solo explica la relación entre electrodos y vocales entre las vocales abiertas y cerradas en el caso de las vocales /a/ y /u/ (ver figura 44). Las

pruebas de efectos intra-sujetos no reporta diferencias significativas con dobles interacciones o entre vocales y electrodos (ver figura 29).

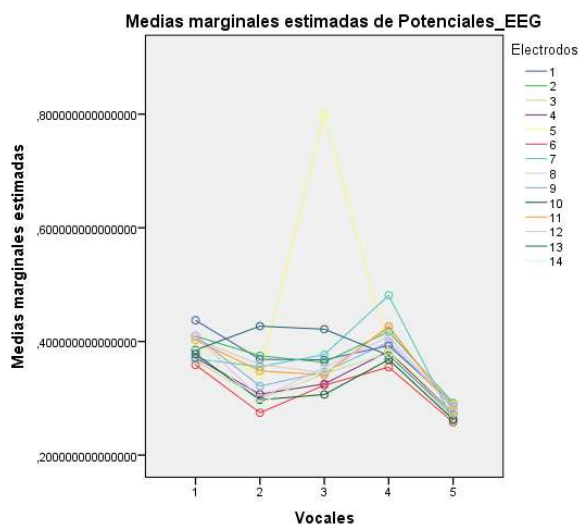


Figura 29. Gráfica resultados IMF7 medias marginales estimadas de PSD de las vocal /a/, /e/, /i/, /o/, /u/ en cada uno de los electrodos sobre el hemisferio izquierdo (HI) evidenciando diferencias significativas entre electrodos y las vocales /a/ (1) y /u/ (5).

Las pruebas de contraste intra-sujetos para la variable vocales /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/ presenta diferencias significativas. El contraste (NIVEL 4 vs. NIVEL 5) donde el promedio de los PSD generados en la vocal /o/ (4) ($M = 0.40$) con el PSD de la vocal /u/ (5) ($M = 0.28$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 7.090$, $p = 0.011$, $\eta^2 = 0.129$. Para la variable Electrodo, se presentan diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 2 vs. NIVEL 3) el promedio de los PSD generados en el electrodo 2 ($M = 0.37$) con el PSD del electrodo 3 ($M = 0.33$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 5.440$, $p = 0.024$, $\eta^2 = 0.102$. El segundo contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) muestra un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.35$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.32$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 18.702$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.280$. El tercer contraste (NIVEL 10 vs. NIVEL 11) señala un promedio de PSD en el electrodo 10 ($M = 0.32$) con el PSD del electrodo 11 ($M = 0.36$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 8.444$, $p = 0.006$, $\eta^2 = 0.150$. Finalmente, se encontraron diferencias significativas en las interacciones entre vocales, electrodos y estilos cognitivos para las vocales /o/ ($M = 0.40$) y /u/ ($M = 0.28$) en relación a los electrodos E3 ($M = 0.33$) y E4 ($M = 0.33$). Este contraste es significativo, $F(1,48) = 3.287$, $p = 0.046$, $\eta^2 = 0.120$.

Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los PSD de las vocales /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/. El contraste (NIVEL 1 vs. NIVEL 5) muestra /a/ ($M = 0.39$) es significativamente mayor que el /u/ ($M = 0.28$). Por otro lado, las diferencias significativas entre los electrodos: (i) E2 ($M = 0.37$) es significativamente mayor que el E4 ($M = 0.33$). (ii) el E9 ($M = 0.35$), es significativamente mayor que el E6 ($M = 0.31$) y E10 ($M = 0.32$). (iii) E6 ($M = 0.31$) es significativamente menor que el E12 ($M = 0.35$) y E14 ($M = 0.34$). No se presentan diferencias significativas en las interacciones dobles.

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que existen diferencias significativas en la intersección de los PSD generados en los diferentes electrodos debido al efecto sobre las vocales (ver figura 29). $F(1,48) = 147.019$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0,754$. El NEFT en esta prueba no reporta diferencias $F(2,48) = 0.012$, $p = 0.988$, $\eta^2 < 0.001$.

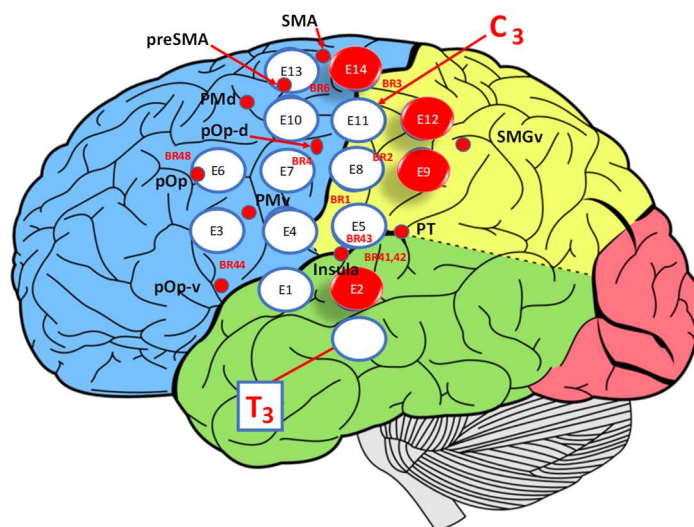


Figura 30. Gráfico indicando la configuración espacial de los electrodos 1 al 14 sobre el hemisferio Izquierdo (HI) en relación al IMF4 para las vocales /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/ en rojo de mayor a menor diferencias significativas los electrodos E2 (giro temporal superior STG, broadman BR 22 del córtex auditivo asociativo), E9 y E12 (giro supramarginal ventral SMG-v, broadman BR 2 y 40 córtex somatosensorial asociativo) y E14 (BR4 cortex premotor dorsal PMd).

A manera de conclusión en relación al IMF7 y las vocales /a/, /e/, /i/, /o/, /u/, se resalta la actividad del electrodo 2 ubicado en el área de broadman BR22 o área de Wernicke sobre el giro temporal superior STG también denominado córtex auditivo asociativo. Los electrodos E12 y E9 sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v muestran las más importantes diferencias significativas. Por otro lado, el electrodo E14 manifiesta actividad diferencial sobre el área de Broadman BR 4 correspondiente al córtex motor. Según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2007), El electrodo E2 se encuentra sobre la vía ventral del procesamiento del habla relacionado con los procesos de comprensión del lenguaje, mientras que los electrodos E9 y E12 se encuentran sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en el interfaz sensorio motora. En dirección de procesamiento al electrodo 14 relacionado con el córtex premotor dorsal (PMd) al límite del surco central en la fisura de Rolando (ver figura 30).

4.3.13. Reporte de resultados IMF 8 /a/, /o/

El promedio de la prueba EFT de la muestra fue de 10.67; la desviación estándar (DE=3.72). Sobre un puntaje máximo de 18; el valor mínimo fue de 1 y el valor máximo de 18 puntos. Los sujetos fueron agrupados en Dependientes de Campo (DC), intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC), definiendo terciles para el puntaje total en la prueba. De esta forma se identificaron tres rangos de puntajes a saber: (a) 15 sujetos DC (primer tercil), (b) 17 sujetos IntC (segundo tercil),

y (c) 13 sujetos IC (tercer tercil). Se excluyeron un total de 25 sujetos de los cuales 17 se reconocieron como casos atípicos (55,48,67,34,26,35,24,54,21,46,50,20,32,40,27, 62,53) y 8 por no incluirse en ningún tercil (22,65,69,4,16,57,60) (ver tabla 25 y 26).

Tabla 2522. Factores inter-sujetos con la distribución de sujetos por estilo cognitivo en la dimensión DIC y sus respectivas Medias y Desviaciones Estándar (DS) ponderadas para la relación vocal abierta y cerrada /a/ y /o/ correspondiente al IMF 8.

Factores inter-sujetos	Etiqueta de valor	N	/a/		PROM		/o/		PROM	
			EFT	Media	DS	EFT	Media	DS		
Agrupación por percentil EFT	1	Dependiente (DC)	15	DC	0,11	0,13	DC	0,11	0,10	
	2	Intermedio (IntC)	17	IntC	0,09	0,11	IntC	0,06	0,04	
	3	Independiente (IC)	13	IC	0,29	0,37	IC	0,14	0,20	
				Total	0,16	0,23	Total	0,10	0,13	

Tabla 26. Resultados de PSD del imaginario del habla de las vocales /a/ y /o/ en cada electrodo para el IMF 8 y su distribución de la media y desviación estandar de acuerdo al estilo cognitivo Dependiente de Campo DC, Intermedio IntC e Independiente de Campo IC.

/a/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
EFT	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,12	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,10	0,12	0,14	0,14	0,12	0,15	0,11	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,12	0,13	0,11	0,13
IntC	0,10	0,14	0,10	0,13	0,09	0,10	0,09	0,11	0,11	0,11	0,08	0,10	0,08	0,10	0,10	0,11	0,10	0,13	0,08	0,10	0,08	0,10	0,09	0,11	0,08	0,10	0,08	0,10
IC	0,31	0,33	0,26	0,28	0,24	0,28	0,26	0,30	0,29	0,33	0,28	0,37	0,27	0,35	0,33	0,40	0,33	0,45	0,29	0,39	0,30	0,41	0,30	0,42	0,29	0,40	0,29	0,40
Total	0,17	0,23	0,15	0,20	0,14	0,19	0,15	0,20	0,16	0,22	0,15	0,23	0,14	0,22	0,18	0,25	0,18	0,28	0,15	0,24	0,15	0,25	0,16	0,26	0,15	0,25	0,15	0,24
/o/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
DC	0,11	0,09	0,11	0,09	0,10	0,08	0,11	0,09	0,10	0,08	0,10	0,09	0,12	0,09	0,15	0,18	0,12	0,10	0,11	0,09	0,11	0,09	0,11	0,09	0,12	0,11	0,11	0,09
IntC	0,06	0,04	0,05	0,03	0,05	0,04	0,05	0,03	0,06	0,04	0,05	0,04	0,07	0,06	0,07	0,05	0,06	0,04	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04
IC	0,12	0,13	0,11	0,12	0,12	0,15	0,12	0,15	0,12	0,14	0,13	0,19	0,12	0,18	0,21	0,35	0,14	0,20	0,13	0,19	0,22	0,39	0,13	0,20	0,13	0,20	0,13	0,19
Total	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,12	0,10	0,12	0,14	0,22	0,10	0,13	0,09	0,12	0,12	0,22	0,09	0,12	0,10	0,13	0,09	0,12

La prueba de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad fue violado. Los datos muestran que el efecto principal de los PSD en los electrodos es: $(X(90) = 967.692, p < 0.05)$ y en la interacción vocales*electrodos es: $(X(90) = 972.994, p < 0.05)$. Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = 0.24$ y 0.17 respectivamente). Las pruebas multivariantes indican que existen diferencias significativas en vocales [Traza de Pillai = 0.096, $F(1,42) = 4.458, p = 0.041, \eta^2 = 0.096$] y los PSD de los electrodos [Traza de Pillai = 0.771, $F(13,30) = 7.761, p < 0.001, \eta^2 = 0.771$]. Sin embargo, no existe diferencias significativa entre dobles interacciones, lo que sugiere que los PSD registrados en la interacción con los 14 electrodos explica las diferencias de forma significativa entre las vocales del imaginario del habla para las vocales /a/, /o/ (ver figuras 31 y 32).

Las pruebas de efectos intra-sujetos presenta diferencias significativas en las vocales /a/, /o/ con un $F(1,42) = 4.458, p = 0.041, \eta^2 = 0,096$. Por otro lado, los electrodos muestran diferencias significativas con un $F(3.133,131.566) = 3.434, p < 0.001, \eta^2 = 0.076$. No se identifican diferencias significativas entre dobles interacciones (ver figuras 31).

Las pruebas de contraste intra-sujetos para la variable vocales, el contraste (NIVEL 1 vs NIVEL 2). Los datos muestran que los valores promedios de los PSD en la vocal /a/ ($M = 0.16$) difieren de los valores promedios de los PSD de la vocal /o/ ($M = 0.10$). Este contraste es significativo, $F(1,42) = 4.458, p = 0.041, \eta^2 = 0,096$. La variable Electrodo, se presentan diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 1 vs. NIVEL 2) el promedio de los PSD generados en el electrodo 1 ($M = 0.14$) con el PSD del electrodo 2 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,42) = 6.909, p = 0.012, \eta^2 = 0.141$. El segundo contraste (NIVEL 3 vs. NIVEL

4) muestra un promedio de PSD en el electrodo 3 ($M = 0.12$) con el PSD del electrodo 4 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,42) = 11.170$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.210$. El tercer contraste (NIVEL 7 vs. NIVEL 8) señala un promedio de PSD en el electrodo 7 ($M = 0.13$) con el PSD del electrodo 8 ($M = 0.18$). Este contraste es significativo, $F(1,42) = 9.208$, $p = 0.004$, $\eta^2 = 0.180$. Un cuarto contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señala un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.15$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.13$). Este contraste es significativo, $F(1,42) = 18.986$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.311$. Con relación a la interacción vocales*electrodos se evidenciaron diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 2 vs. NIVEL 3) el promedio de los PSD generados en el electrodo 2 ($M = 0.12$) con el PSD del electrodo 3 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,42) = 4.409$, $p = 0.042$, $\eta^2 = 0.095$. El segundo contraste (NIVEL 3 vs. NIVEL 4) muestra un promedio de PSD en el electrodo 3 ($M = 0.12$) con el PSD del electrodo 4 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,42) = 9.237$, $p = 0.004$, $\eta^2 = 0.180$. El tercer contraste (NIVEL 6 vs. NIVEL 7) señala un promedio de PSD en el electrodo 6 ($M = 0.12$) con el PSD del electrodo 7 ($M = 0.13$). Este contraste es significativo, $F(1,42) = 5.026$, $p = 0.030$, $\eta^2 = 0.107$. Un cuarto contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señala un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.15$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.13$). Este contraste es significativo, $F(1,42) = 5.065$, $p = 0.030$, $\eta^2 = 0.108$. Finalmente, la interacción intra e inter sujetos presenta un contraste vocal, electrodo y estilo cognitivo para el imaginario del habla de vocales /a/ ($M = 0.16$) y /o/ ($M = 0.10$) (NIVEL 3 vs. NIVEL 4) señalando un promedio de PSD en el electrodo 3 ($M = 0.12$) con el PSD del electrodo 4 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(2,42) = 4.376$, $p = 0.019$, $\eta^2 = 0.172$ (ver figuras 31 y 32).

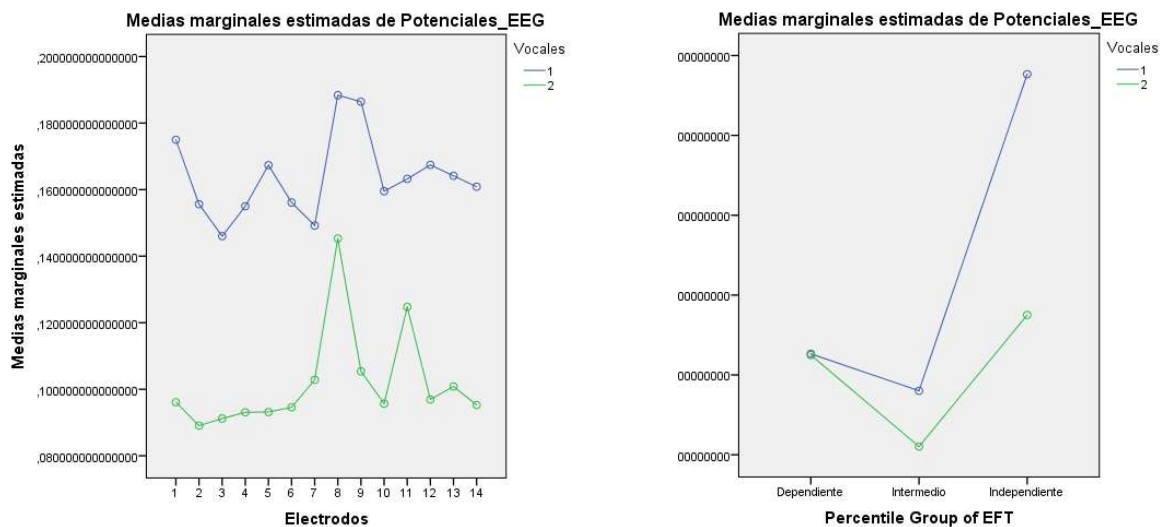


Figura 31. Gráficas de resultados IMF8 comparando el comportamiento de las vocales /a/ (1) y /o/ (2) en relación a los electrodos. A la izquierda se observan diferencias significativas entre vocales en relación a los electrodos. A la derecha se identifican diferencias significativas entre el grupo de estilo cognitivo Intermedio (IntC) e Independiente de campo (IC) según pruebas post hoc (Sig.= 0.033).

Las comparaciones múltiples de acuerdo con Bonferroni indican que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los PSD de las vocales /a/ ($M = 0.16$) y /o/ ($M = 0.10$). Por otro lado, se evidencian diferencias significativas entre el electrodo (i) El E9 ($M = 0.15$), el

cual es significativamente mayor que el E6 (M = 0.12), E10 (M = 0.13), E12 (M = 0.13) y E14 (M = 0.13) (ver figuras 31 y 32).

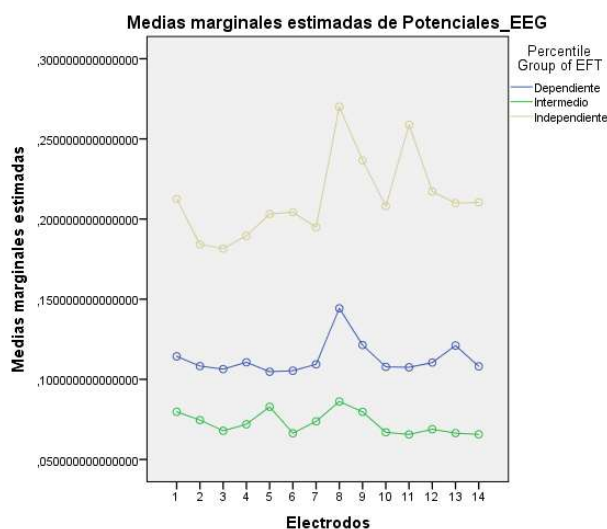


Figura 32. Gráficas de resultados IMF8 comparando el comportamiento de los estilos cognitivos DC, IntC y DC en relación a los electrodos. Las pruebas post hoc indican diferencias significativas entre los IC y los IntC (Sig.=0.033).

Finalmente, a pesar que no se evidenciaron diferencias significativas en las interacciones dobles intrasujetos e intersujetos, la prueba post hoc identificó diferencias significativas entre el estilo cognitivo Intermedio e independiente de campo (ver figura 32). Los resultados obtenidos con Bonferroni indican que el estilo cognitivo intermedio (IntC) difiere significativamente con el estilo cognitivo independiente de campo (IC) (Sig.= 0.033), mientras que la relación Dependiente de campo (DC) con intermedio (Sig.= 1.0) e independiente (0.216) no evidenció diferencias significativas.

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que existen diferencias significativas en la intersección de los PSD generados en los diferentes electrodos debido al efecto sobre las vocales. $F(1,42) = 38.304$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.477$. De la misma forma, el NEFT en esta prueba reporta diferencias significativas $F(2,42) = 3.647$, $p = 0.035$, $\eta^2 = 0.148$ (ver figura 31).

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que existen diferencias significativas en la intersección de los PSD generados en los diferentes electrodos debido al efecto sobre las vocales. $F(1,42) = 38.304$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.477$. De la misma forma, el NEFT en esta prueba reporta diferencias significativas $F(2,42) = 3.647$, $p = 0.035$, $\eta^2 = 0.148$ (ver figura 31).

A manera de conclusión en relación al IMF8 y las vocales /a/, /o/, se resalta la actividad del electrodo E9, el cual manifiesta actividad sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v. Según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2007), el electrodo E9 se encuentra sobre la

vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensoriomotora (ver figura 33).

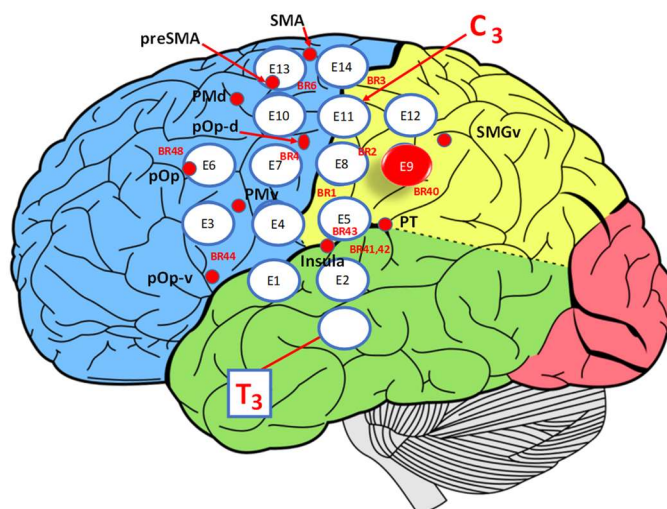


Figura 33. Gráfico indicando la configuración espacial de los electrodos 1 al 14 sobre el hemisferio Izquierdo (HI) en relación al IMF8 para las vocales /a/, /o/, en rojo diferencias significativas para el electrodo E9 (giro supramarginal ventral SMG-v, broadman BR 2 y 40 córtex somatosensorial asociativo).

4.3.14. Reporte de resultados IMF 8 /a/, /u/

El promedio de la prueba EFT de la muestra fue de 10.69; la desviación estándar (DE=3.69). Sobre un puntaje máximo de 18; el valor mínimo fue de 1 y el valor máximo de 18 puntos. Los sujetos fueron agrupados en Dependientes de Campo (DC), intermedios (IntC) e Independientes de Campo (IC), definiendo terciles para el puntaje total en la prueba. De esta forma se identificaron tres rangos de puntajes a saber: (a) 15 sujetos DC (primer tercil), (b) 18 sujetos IntC (segundo tercil), y (c) 13 sujetos IC (tercer tercil). Se excluyeron un total de 24 sujetos de los cuales 17 se reconocieron como casos atípicos (65,24,55,34,46,35,48,26, 32,21,53,57,27,62,67,54,40) y 7 por no incluirse en ningún tercil (69,50,4,16,30,22,60) (ver tabla 27 y 28).

La prueba de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad fue violado. Los datos muestran que el efecto principal de los PSD en los electrodos es: (X (90) =929.753, $p < 0.05$) y en la interacción vocales*electrodos es: (X (90) =996.987, $p < 0.05$). Por lo tanto, los grados de libertad se corrigieron con Greenhouse-Geisser ($\epsilon = 0.28$ y 0.26 respectivamente). Las pruebas multivariantes indican que existen diferencias significativas en vocales [Traza de Pillai = 0.118, F (1,43) = 5.765, $p=0.021$, $\eta^2 =0.118$] y los PSD de los electrodos [Traza de Pillai = 0.728, F (13,31) = 6.382, $p < 0.001$, $\eta^2 =0.728$]. Sin embargo, no existe diferencias significativas entre dobles interacciones, lo que sugiere que los PSD registrados en la interacción con los 14 electrodos explica las diferencias de forma significativa entre el imaginario del habla de las vocales a/, /u/ (ver figuras 34 y 35).

Tabla 27. Factores inter-sujetos con la distribución de sujetos por estilo cognitivo en la dimensión DIC y sus respectivas Medias y Desviaciones Estándar (DS) ponderadas para la relación vocal abierta y cerrada /a/ y /u/ correspondiente al IMF 8.

Factores inter-sujetos	Etiqueta de valor	N	/a/		PROM		/u/		PROM	
			EFT	Media	DS	EFT	Media	DS		
Agrupación por percentil EFT	1	Dependiente (DC)	15	DC	0,11	0,13	DC	0,07	0,10	
	2	Intermedio (IntC)	18	IntC	0,09	0,11	IntC	0,07	0,07	
	3	Independiente (IC)	13	IC	0,29	0,37	IC	0,09	0,10	
				Total	0,16	0,23	Total	0,08	0,09	

Tabla 28. Resultados de PSD del imaginario del habla de las vocales/a/ y /u/ en cada electrodo para el IMF 8 y su distribución de la media y desviación estándar de acuerdo al estilo cognitivo Dependiente de Campo DC, Intermedio IntC e Independiente de Campo IC.

/a/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
DC	0,12	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,10	0,12	0,14	0,14	0,12	0,15	0,11	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,12	0,13	0,11	0,13
IntC	0,10	0,13	0,10	0,13	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10	0,09	0,10	0,08	0,09	0,11	0,11	0,10	0,13	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,11	0,09	0,11	0,08	0,10
IC	0,31	0,33	0,26	0,28	0,24	0,28	0,26	0,30	0,29	0,33	0,28	0,37	0,27	0,35	0,33	0,40	0,33	0,45	0,29	0,39	0,30	0,41	0,30	0,42	0,29	0,40	0,29	0,40
Total	0,17	0,22	0,15	0,19	0,14	0,18	0,15	0,20	0,16	0,21	0,15	0,23	0,14	0,22	0,18	0,25	0,18	0,28	0,15	0,24	0,15	0,25	0,16	0,26	0,16	0,25	0,15	0,24
/u/	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13		E14	
DC	0,07	0,10	0,07	0,10	0,07	0,10	0,07	0,10	0,07	0,09	0,07	0,10	0,07	0,10	0,09	0,12	0,08	0,12	0,07	0,10	0,07	0,11	0,07	0,10	0,06	0,06	0,07	0,11
IntC	0,07	0,05	0,06	0,05	0,07	0,05	0,07	0,05	0,07	0,07	0,06	0,05	0,06	0,05	0,13	0,24	0,07	0,05	0,06	0,05	0,07	0,07	0,06	0,05	0,09	0,12	0,06	0,05
IC	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,13	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,09	0,10
Total	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,09	0,08	0,09	0,07	0,08	0,07	0,08	0,10	0,17	0,08	0,09	0,07	0,08	0,08	0,09	0,07	0,08	0,08	0,10	0,07	0,09

Las pruebas de efectos intra-sujetos presenta diferencias significativas en las vocales /a/,/u/ con un $F(1,43) = 5.765$, $p = 0.021$, $\eta^2 = 0,118$. Por otro lado, los electrodos muestran diferencias significativas con un $F(3.644,156.712) = 3.485$, $p = 0.012$, $\eta^2 = 0.075$. No se identifican diferencias significativas entre dobles interacciones (ver figuras 34).

Las pruebas de contraste intra-sujetos para la variable vocales, el contraste (NIVEL 1 vs NIVEL 2). Los datos muestran que los valores promedios de los PSD en la vocal /a/ ($M = 0.16$) difieren de los valores promedios de los PSD de la vocal /u/ ($M = 0.08$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 5.765$, $p = 0.021$, $\eta^2 = 0,118$. La variable Electrodo, se presentan diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 1 vs. NIVEL 2) el promedio de los PSD generados en el electrodo 1 ($M = 0.13$) con el PSD del electrodo 2 ($M = 0.11$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 6.081$, $p = 0.018$, $\eta^2 = 0.124$. El segundo contraste (NIVEL 3 vs. NIVEL 4) muestra un promedio de PSD en el electrodo 3 ($M = 0.11$) con el PSD del electrodo 4 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 15.341$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.263$. El tercer contraste (NIVEL 6 vs. NIVEL 7) señala un promedio de PSD en el electrodo 6 ($M = 0.12$) con el PSD del electrodo 7 ($M = 0.11$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 21.391$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.332$. Un cuarto contraste (NIVEL 7 vs. NIVEL 8) señala un promedio de PSD en el electrodo 7 ($M = 0.11$) con el PSD del electrodo 8 ($M = 0.15$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 9.709$, $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.184$. Un quinto contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) señala un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.13$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 23.389$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.352$. Con relación a la interacción vocales*electrodos se evidenciaron diferencias significativas en los siguientes contrastes: El primer contraste (NIVEL 4 vs. NIVEL 5) el promedio de los PSD generados en el electrodo 4 ($M = 0.12$) con el PSD del electrodo 5 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 4.436$, $p = 0.041$, $\eta^2 = 0.094$. El segundo contraste (NIVEL 9 vs. NIVEL 10) muestra un promedio de PSD en el electrodo 9 ($M = 0.13$) con el PSD del electrodo 10 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(1,43) = 4.543$, $p = 0.039$, $\eta^2 = 0.096$. Finalmente, se relaciona el contraste electrodos y estilo cognitivo NEFT

(NIVEL 3 vs. NIVEL 4) señalando un promedio de PSD en el electrodo 3 ($M = 0.11$) con el PSD del electrodo 4 ($M = 0.12$). Este contraste es significativo, $F(2,43) = 4.863$, $p = 0.012$, $\eta^2 = 0.096$. Finalmente, a pesar que no se evidenciaron diferencias significativas en las interacciones dobles intrasujetos e intersujetos, la prueba post hoc identificó diferencias significativas entre el estilo cognitivo Intermedio e independiente de campo. Los resultados obtenidos con Bonferroni indican que el estilo cognitivo intermedio (IntC) difiere significativamente con el estilo cognitivo independiente de campo (IC) ($\text{Sig.} = 0.028$), mientras que la relación Dependiente de campo (DC) con intermedio ($\text{Sig.} = 1.0$) e independiente (0.063) no evidenció diferencias significativas (ver figuras 34 y 35).

Con respecto a la prueba de efectos inter-sujetos, los datos muestran que existen diferencias significativas en la intersección de los PSD generados en los diferentes electrodos debido al efecto sobre las vocales. $F(1,43) = 55.674$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.564$. De la misma forma, el NEFT en esta prueba reporta diferencias significativas $F(2,43) = 4.257$, $p = 0.021$, $\eta^2 = 0.165$ (ver figuras 34).

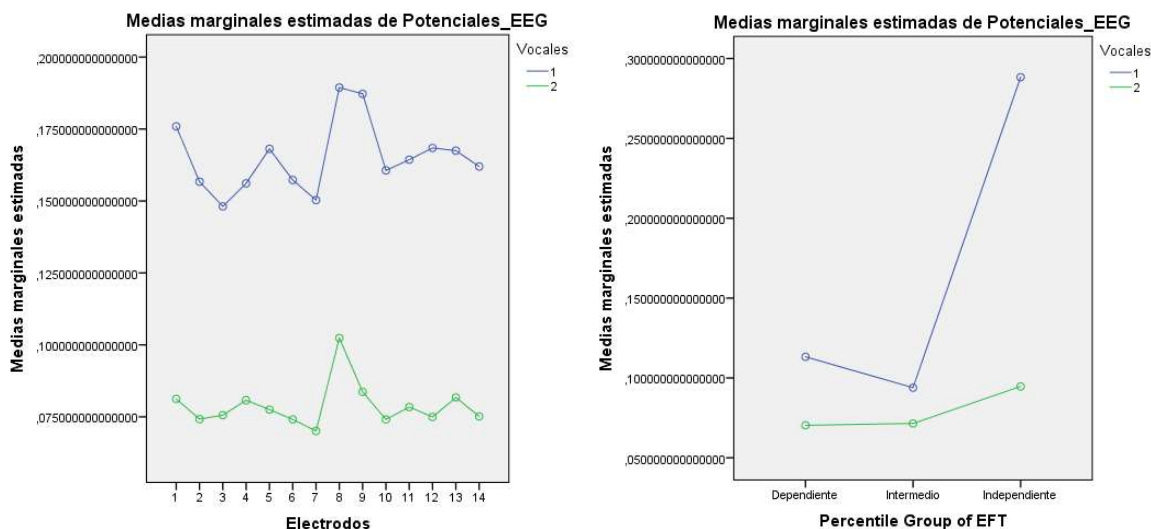


Figura 34. Gráficas de resultados IMF8 comparando el comportamiento de las vocales /a/ (1) y /u/ (2) en relación a los electrodos. A la izquierda se observan diferencias significativas entre vocales en relación a los electrodos. A la derecha se identifican diferencias significativas entre el grupo de estilo cognitivo Intermedio (IntC) e Independiente de campo (IC) según pruebas post hoc ($\text{Sig.} = 0.033$).

A manera de conclusión en relación al IMF8 y las vocales /a/, /u/, se resalta la actividad del electrodo E9, el cual manifiesta actividad sobre las áreas de broadman BR 2 y 40 entre la corteza somatosensorial primaria y el área de asociación somatosensorial justo en la circunvolución supramarginal de asociación heteromodal, también denominado giro supramarginal ventral SMG-v. Le sigue el electrodo E4, evidenciando actividad en el córtex premotor y motor sobre el área BR4 y BR6, seguido del electrodo E10 relacionado con el área de broadman BR 6 donde se ubica el córtex premotor. Se finaliza con el electrodo E6, evidenciando actividad sobre las áreas BR 8 y 44 correspondientes al córtex motor secundario y área de Broca. Según el modelo propuesto por Hickok y Poeppel (2007), el electrodo E9 se encuentra sobre la vía dorsal del procesamiento del imaginario del lenguaje, específicamente en la interfaz sensoriomotora.

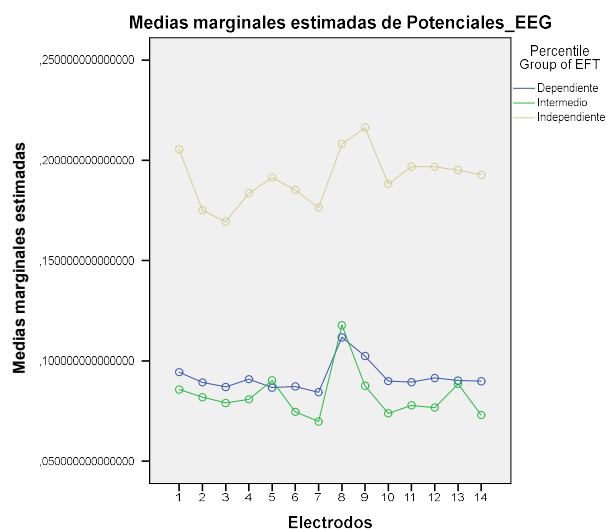


Figura 35. Gráficas de resultados IMF8 comparando el comportamiento de los estilos cognitivos DC, IntC y DC en relación a los electrodos. Las pruebas post hoc indican diferencias significativas entre los IC y los IntC (Sig.=0.033).

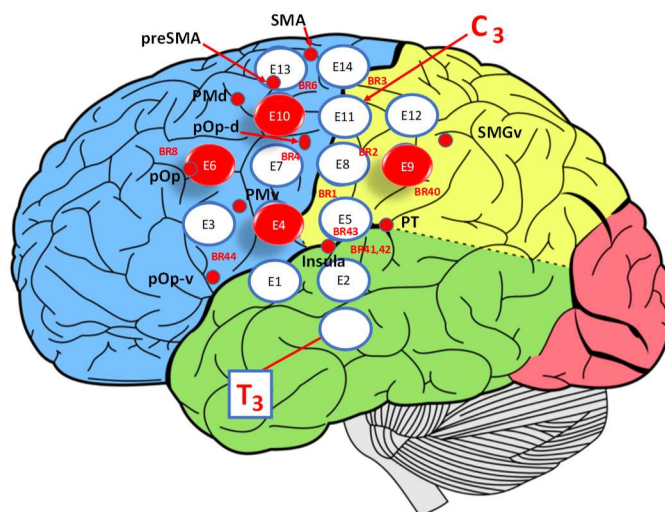


Figura 36. Gráfico indicando la configuración espacial de los electrodos 1 al 14 sobre el hemisferio Izquierdo (HI) en relación al IMF8 para las vocales /a/, /u/, en rojo diferencias significativas para el electrodo E9 (giro supramarginal ventral SMG-v, broadman BR 2 y 40 córtex somatosensorial asociativo). Así como los electrodos 4 y 10 (córtex motor y premotor áreas de broadman BR 4 y 6) y el electrodo E6 (áreas de broadman BR 8 y 44 en el cortex motor secundario y el área de Broca respectivamente).

El electrodo E6 tendría relación con el imaginario de vocales en la categoría de habla encubierta dada su relación con el córtex motor secundario y el área de Broca. Por tanto, el efecto sobre los electrodos E4 y E10 relacionados con el córtex motor y premotor, donde se prepara el gesto motor correspondiente a imaginario de la vocalización de la /a/ y /u/. La actividad de los electrodos E4, E6 y E10 ocurre sobre lo que en el modelo de Hickok y Poeppel (2007) le denominan giro frontal posteroinferior o pIFG (del inglés *posterior inferior frontal gyrus*) y el córtex premotor PM justo en el área del córtex pre-motor suplementario (pre-SMA), donde se realiza la planeación motora orofacial generada en el pars-opercularis ventral izquierdo (pOp-d E4) y el pars-opercularis dorsal

izquierdo (pOp-d E10), finalizando en el pars-opercularis izquierdo (pOp E6) o área de Broca (ver figura 36).