

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
AUTOMÁTICA INDUSTRIAL



"ANÁLISIS DE LAS SEÑALES EEG
DURANTE LA REALIZACIÓN DE
TAREAS DE IMPROVISACIÓN
ARTÍSTICA"

TRABAJO FIN DE GRADO

JULIO -2020

AUTOR: Anahis Casanova Hernández

DIRECTOR/ES: Mario Ortiz García

AGRADECIMIENTOS

Un trabajo demandante no se logra a través del esfuerzo individual, si no, gracias a la suma del esfuerzo de todas las personas que estuvieron a lo largo del camino. Principalmente, quisiera agradecer a mi asesora, la Dr. Irma Nayeli Angulo Sherman, ya que sin su ayuda este proyecto no hubiera sido posible. Le agradezco de todo corazón todo el apoyo brindado desde el inicio hasta el final, por todas las tardes y días extra que dedicó en mi proceso de aprendizaje, por escucharme cuando lo necesitaba y por siempre estar ahí cuando se requería y que, a pesar de todos los inconvenientes vividos a causa de la contingencia, siempre se mantuvo positiva, brindándome ánimos para seguir adelante con el proyecto, con toda la sinceridad del mundo, no pude haber pedido mejor asesora que ella. En segundo lugar, quiero agradecer al Dr. Mario Ortiz García, quien me abrió las puertas y confió en mí para la realización de este trabajo. Gracias por el tiempo y los conocimientos, pero también quiero agradecerle por estar al pendiente de mí, y por sus consejos, que me ayudaron a sobrellevar de forma más óptima mi intercambio en tiempos de contingencia. En tercer lugar, le agradezco a mis compañeros de laboratorio, quien en algún momento fueron agentes clave en mi proceso de aprendizaje, por todas las risas y momentos que pasamos juntos, principalmente a José Jesús Hernández Gloria, quien estuvo conmigo en todo momento para brindarme su ayuda y su conocimiento, sin él, las noches de desvelo hubieran sido más largas y los viajes más solitarios, como siempre decíamos, somos dos mexicanos contra España. En cuarto lugar, pero igual de importantes, le agradezco a mi familia. Mis padres que siempre han estado conmigo en todo momento, apoyándome a ser una mejor persona día a día y por darme todas las herramientas necesarias para salir adelante, sin su ayuda esta experiencia no hubiera sido posible, les agradezco todos los sacrificios que han hecho por mí para brindarme la mejor educación dentro de sus posibilidades, por siempre pensar en mí y en mis hermanos, es por ello que este trabajo se los dedico a ellos, ya que representa todo mi esfuerzo y dedicación a lo largo de mi vida estudiantil, la cual no hubiera sido posible sin su amor y apoyo incondicional. Le quiero agradecer de igual manera a mis hermanos, quienes me han apoyado en numerosas ocasiones, sin su ayuda, vivir esta experiencia se hubiera visto lejana e imposible. Por último, quiero agradecer a todos mis amigos y conocidos que siempre han estado conmigo a lo largo de mi vida. La vida es hermosa y más si la vives con las personas correctas.



RESUMEN

La creatividad artística involucra varios procesos cognitivos, por lo que su estudio es de interés para la creación de nuevas terapias para el desarrollo cognitivo de niños o para evitar el deterioro cognitivo en enfermedades como la demencia. También podría ser útil para crear un indicador que permita evaluar las habilidades creativas.

En este proyecto se analizaron registros de la actividad cerebral obtenidos a través de electroencefalografía (EEG) durante la realización de cuatro tareas enfocadas al arte pictórico: dos imaginativas, que requieren creatividad para su realización, además de una tarea contemplativa y otra de relajación. Se realizó una comparativa entre pares de tareas para observar los patrones en el EEG de coherencia o potencia que fuesen similares entre tareas. A través del análisis de la coherencia parcialmente dirigida o PDC se obtuvieron las interacciones significativamente diferentes entre cada par de tareas, en donde la principal observación fue que la actividad parietooccipital y frontocentral del hemisferio izquierdo (electrodos PO7 y FC5) se asocia a la realización de tareas creativo-artísticas. También se encontró una alta comunicación interhemisférica en las actividades creativas, principalmente en la lateralidad de los hemisferios y con dominancia en el hemisferio izquierdo. Los resultados indican una posible similitud entre las tareas creativas y contemplativas. Los resultados del análisis en potencia muestran un aumento de potencia en las bandas de alta frecuencia en las zonas parietooccipitales, la cual se relaciona en la literatura a un mayor esfuerzo visual en los sujetos noveles, así como la activación en potencia del área frontal en el hemisferio izquierdo, la cual se ha asociado en otros trabajos con un disfrute de la actividad realizada. Sin embargo, se requieren estudios más extensos para obtener conclusiones más significativas.

Los resultados obtenidos servirán como referencia para futuros estudios donde se comparará la actividad cerebral entre sujetos noveles y artistas. De esta forma se podrán encontrar bases más específicas para la creación de investigaciones de terapias artísticas basadas en EEG.

Índice

Capítulo 1. Introducción	10
1.1. Motivación.....	12
1.2. Objetivos	13
1.2.1 Objetivo general	13
1.2.2 Objetivos específicos	144
Capítulo 2. Estado del Arte	16
2.1 La creatividad artística en la neurociencia.....	18
2.2 Técnicas de neuroimagen y el EEG.....	19
2.3 Medición de la creatividad	20
2.4.1 Relación entre la corteza prefrontal y la creatividad.....	21
2.4.2 Comunicación interhemisférica en la creatividad.....	22
2.4.3 El cerebro creativo vs el no creativo	23
Capítulo 3. Materiales y Métodos.....	26
3.1 Adquisición de EEG.....	28
3.2 Usuarios	29
3.3 Protocolo de Pruebas.....	29
3.4.1 Improvisación 1 (código 301).....	31
3.4.2 Improvisación 2 (código 303).....	32
3.4.3 Contemplación pictórica: Neuroestética (código 305)	32
3.4.4 Relajación (código 306).....	33
3.5.1 Análisis de conectividad	33
3.5.2 Análisis en potencia	36
Capítulo 4. Resultados	38

4.1	Análisis de la PDC	40
4.1.1	Direccionalidad	42
4.2	Análisis en potencia.....	43
4.3.1	Análisis de la PDC	45
4.3.2	Discusión del análisis en potencia	52
Capítulo 5.	Conclusiones.....	57
6	Referencias	62



CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN





1.1. MOTIVACIÓN

El estudio de la creatividad en las artes tiene una amplia variedad de aplicaciones en el área de la neurociencia y en la biomédica. Sin embargo, pese a que su entendimiento puede ayudar a comprender aspectos sobre el desarrollo y el deterioro cognitivo, aún es un campo poco explorado. En el caso del desarrollo cognitivo, existen estudios que indican una posible correlación entre las actividades creativo-artísticas con un mayor desarrollo del pensamiento de orden superior en niños a edad temprana (Baker, 2013; Peterson, 2005). También se ha observado que los niños expuestos a estudios artísticos expresan mejor sus ideas y sentimientos en comparación con niños que no han formado parte de ninguna actividad creativo-artística a lo largo de su vida, y muestran mejor desempeño en la construcción de relaciones interpersonales, así como en la construcción y organización de significado y percepción focalizada, de acuerdo con pruebas que miden el pensamiento creativo, tales como la prueba del pensamiento creativo de Torrance (Baker, 2013). Esta última, es la prueba más aceptada y utilizada en la actualidad debido a que uno de sus principales objetivos es el reconocer el potencial latente de las personas, tanto en el ámbito de educativo como en el laboral (Kaufman y Baer, 2016). A pesar de ello, varios autores indican que existe cierta variabilidad de resultados (Almedia, Prieto, Ferrando, Oliveira y Ferrándiz, 2008; Safaei Rad et al., 2010; Hee Kim, 2006), ya que al analizar varios estudios se pueden presentar incongruencias en los resultados atribuida a la edad. Una de las principales fuentes de dichas incongruencias es la falta de bases empíricas y la subjetividad de los resultados, aun cuando la prueba tiene criterios de evaluación predefinidos (Hee Kim, 2006).

Por otro lado, también se cree que el arte provee una oportunidad para la rehabilitación cognitiva en enfermedades como la demencia (Miller y Hou, 2004). Entre las terapias artísticas, la interpretación y percepción musical es de las más estudiadas, ya que ha observado que el estímulo musical es capaz de mejorar el comportamiento y el nivel cognitivo (Liggieri et al. 2019). Por otro lado, en el caso del arte pictórico, algunos estudios han encontrado que pacientes con demencia muestran un aumento de sus habilidades artísticas conforme avanza la enfermedad

(Miller y Hou, 2004; Miller, Boone, Cumming, Read y Mishkin, 2000). Tomando en cuenta que, las actividades prolongadas de dibujo se relacionan con la memoria, la inteligencia y la relajación, se sugiere que se puede aplicar una metodología para refinar tratamientos utilizando terapias basadas en arte visual (Belkofer, Vaughan y Konopka, 2014).

Considerando lo anterior, el entendimiento del funcionamiento del cerebro y los diferentes procesos cognitivos generados durante la realización de actividades creativo-artísticas podría contribuir a dos grandes aspectos: el primero es el desarrollo de una prueba de análisis de la creatividad más objetiva respecto a las actuales, y el segundo es el desarrollo de estrategias para frenar el deterioro cognitivo en pacientes de edad avanzada o, por otro lado, mejorar el desarrollo cognitivo en los primeros años de vida.

Este estudio forma parte del proyecto CREATE del equipo de investigación del Dr. Mario Ortiz García, profesor de la Universidad Miguel Hernández de Elche, España, el cual tiene como antecedentes el análisis de las actividades creativo-artísticas relacionadas al arte pictórico de sujetos habituados a este último y sujetos noveles mediante el análisis de la actividad cerebral, utilizando electroencefalografía como método de medición.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Analizar las diferencias en las señales electroencefalográficas durante la realización de una actividad creativo-artística en el área del arte pictórico respecto a una actividad contemplativa, evaluando el caso para sujetos noveles.

1.2.2 Objetivos específicos

- Calcular la coherencia parcialmente dirigida del EEG para estimar la conectividad cerebral entre distintas regiones cerebrales a distintas frecuencias.
- Analizar la coherencia para las distintas actividades para encontrar tendencias relacionadas a la conectividad cerebral para los sujetos.





CAPÍTULO 2.

ESTADO DEL ARTE





2. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se presenta la información actual necesaria para situar en contexto el trabajo. En particular se describe la creatividad artística en la neurociencia, las técnicas de neuroimagen que se utilizan para estudiar la creatividad y el funcionamiento del cerebro durante el proceso creativo. También, se explica un poco sobre los antecedentes de los cuales se basa el proyecto.

2.1 LA CREATIVIDAD ARTÍSTICA EN LA NEUROCIENCIA

El arte es cualquier tipo de expresión consciente humana que se destaca por el uso de sonidos, formas, patrones, movimientos, colores o cualquier otro elemento que emite sentimientos y emociones para la contemplación y deleite de los humanos (Ellamil, Dobson, Beeman y Christoff, 2012). De esta forma, el ser humano es capaz de poder expresarse en galerías de arte, auditorios a través de conciertos de música, de danza, entre otros. Sin embargo, además de la manifestación artística, también se puede implementar la creatividad en laboratorios de ciencia, biología o en las actividades cotidianas. Por ello, es necesario entender el concepto de creatividad, el cual se define como la habilidad de producir ideas que puedan ser tanto nuevas como útiles.

Todo proceso creativo consta de dos fases: la fase generativa, dónde se crea la idea y se lleva a cabo su realización, y la fase evaluativa, dónde se valora la utilidad de la idea (Ellamil, Dobson, Beeman y Christoff, 2012). Al momento de realizar una actividad artística, el hombre pasa por el proceso creativo, en donde el cerebro integra los procesos cognitivos más básicos hasta los superiores. Es por ello por lo que, la expresión artística es considerada una de las tareas más complejas realizadas por el hombre (Esquivias, 2004).

La importancia del estudio de la creatividad se basa en que esta es esencial o incluso indispensable en la vida diaria, así como en diferentes disciplinas de estudio,

como en la ciencia cognitiva, la pedagogía, la educación y la cultura (Bhattacharya y Petsche, 2005; Fink y Benedek, 2014). Recientemente, el estudio de la creatividad se ha expandido a otras áreas, como la neurociencia (Schwab et al., 2014), a través de la cual se ha encontrado que la creatividad es una combinación y/o interacción de diferentes procesos cognitivos, por lo cual no puede haber solo un centro para la creatividad en el cerebro (Schwab et al., 2014).

La presente investigación se basa en el estudio de la creatividad a través de la expresión artística pictórica en sujetos noveles. Definiendo al arte pictórico como toda aquella actividad en dónde el sujeto pueda plasmar su idea a través de un lienzo, mural, lámina o inclusive un computador, y entendiéndose como sujeto novel a toda aquella persona que no tiene experiencia en la realización de una actividad determinada, en este caso, en actividades de dibujo, pintura y escultura (R.A.E., 2020)

2.2 TÉCNICAS DE NEUROIMAGEN Y EL EEG

La neurociencia cognitiva actualmente utiliza tres metodologías diferentes que permite a los investigadores observar los cambios que se producen en la actividad cerebral: resonancia magnética funcional (fMRI, por sus siglas en inglés), tomografía por emisión de positrones (PET) y electroencefalografía (EEG). Cada técnica tiene sus ventajas y desventajas. Por ejemplo, la fMRI permite una alta resolución espacial, pero no permite el estudio de los procesos cognitivos con alta resolución temporal. Por otro lado, el EEG muestra una resolución espacial menor, pero permite un análisis con resolución temporal más detallado, el cual es idóneo para el estudio de eventos cognitivos (Dietrich y Kanso, 2010).

El EEG utiliza sensores que se encuentran ubicados en la superficie del cuero cabelludo, los cuales son capaces de medir los potenciales eléctricos generados por la actividad de las neuronas corticales. En cuestión de la creatividad artística, su alta resolución temporal es necesaria para detectar el momento en que una zona cerebral es activada a causa de un estímulo (Sawyer, 2011; Dietrich y Kanso, 2010). Esta técnica de neuroimagen permite analizar las señales a distintas frecuencias,

típicamente dentro de un rango de frecuencia de 1-50 Hz, las cuales se dividen en cinco bandas de frecuencia principales (Sawyer, 2011):

- Ondas delta (0.5 – 3 Hz), se presentan principalmente durante el sueño.
- Ondas theta (4 – 7 Hz), son más comunes durante la infancia, se encuentran implicadas en codificar y recuperar la información.
- Ondas alfa (8 – 12 Hz), se manifiestan durante el día mientras la persona está despierta, relajada o con los ojos cerrados.
- Ondas beta (13 – 30 Hz), incrementan en atención focalizada.
- Ondas gamma (30 – 45 Hz), se cree que están implicadas en la creación de la unidad de la percepción consciente.

2.3 MEDICIÓN DE LA CREATIVIDAD

En los últimos años se ha intentado comprender la relación entre el cerebro y la creatividad debido al interés de estudiar el proceso creativo bajo condiciones controladas (Dietrich y Kanso, 2010). Martindale, Hines, Mitchell y Covello (1984) mencionan que el proceso creativo involucra dos fases, la etapa inspiracional y la etapa de ejecución que conlleva a finalizar la elaboración de la idea. Sin embargo, el proceso creativo se ve afectado por aspectos como la personalidad, la habilidad artística de la persona, el estado de ánimo, entre otros (Bhattacharya y Petsche, 2005).

La creatividad artística se puede trabajar bajo la perspectiva de que el proceso creativo no solo involucra la activación de regiones corticales y subcorticales, sino que también requiere de la interacción y sincronización entre dichas regiones (Bhattacharya y Petsche, 2005; Astolfi et al., 2006). Para ello, es necesario definir el término de *sincronización* por bandas del EEG como el aumento de la potencia en una banda de frecuencia, mientras que la *desincronización* es la disminución de la potencia (Sakkalis, 2011). Otro término por considerar es la *coherencia*, la cual indica la correlación temporal de la actividad de dos canales (sensores de EEG) para una frecuencia específica, por lo que es signo de conectividad funcional en el cerebro. A pesar de ello, la coherencia es un modelo bivariable, lo cual implica que solo dos

señales pueden ser consideradas al mismo tiempo. Como alternativa para solucionar este problema, se emplea la coherencia parcialmente dirigida o PDC (por sus siglas en inglés) que permite el modelado simultáneo de todos los canales a través de un modelo multivariable autorregresivo, lo que permite brindar estimaciones más acertadas de causalidad que la coherencia tradicional (Baccalá y Sameshima, 2001; Hytt, Takalo e Ihalainen, 2006).

2.4 EL CEREBRO Y LA CREATIVIDAD

La actividad cerebral varía según el tipo de actividad artística realizada. A pesar de ello, se conoce que la corteza prefrontal tiene un papel importante en la estructura del pensamiento creativo (Dietrich, 2004; Sawyer, 2011).

2.4.1 Relación entre la corteza prefrontal y la creatividad

La corteza prefrontal abarca aproximadamente la mitad del lóbulo frontal y es la encargada de integrar información proveniente de otras partes del cerebro que ya ha sido procesada para alcanzar funciones cognitivas superiores, tales como la autoconstrucción, la autorreflexión, la conciencia, funciones sociales complejas, pensamiento abstracto, flexibilidad cognitiva, planeación, acciones intencionales, la memoria y la atención (Dietrich, 2004; Sawyer, 2011). La corteza prefrontal se divide en la zona ventromedial (conectada directamente con la amígdala y la corteza cingulada) y la zona dorsolateral (fuertemente conectada con los lóbulos temporal, occipital y parietal o TOP) (Dietrich, 2004). En la Figura 1 puede observarse la ubicación de cada uno de estos lóbulos cerebrales.

La conciencia y la creatividad deliberada son conducidas por la parte frontal del cerebro. Sin embargo, la visión espontánea emerge detrás de la corteza prefrontal (en el TOP), siendo estas las que se encargan principalmente de la percepción y la memoria a largo plazo (Dietrich, 2004; Sawyer, 2011).

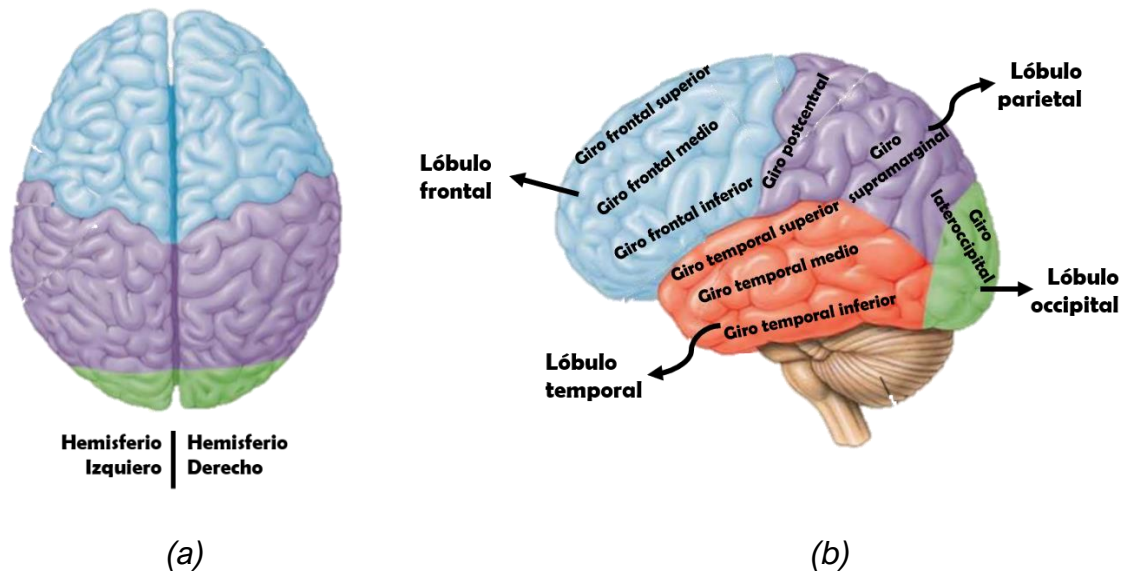


Figura 1. Partes anatómicas del cerebro. Tomado de (Pinel, 2006).

2.4.2 Comunicación interhemisférica en la creatividad

En la antigüedad, se tenía la creencia de la creatividad está relacionada directamente con la actividad del hemisferio derecho. Sin embargo, la comunicación interhemisférica podría ser necesaria para combinar diferentes funciones de los hemisferios ya que ambos son importantes al momento de tener una idea creativa. Esto debido a que el hemisferio derecho e izquierdo almacenan diferentes formas de conocimiento y utilizan diferentes estrategias cognitivas. El poder utilizar ambos hemisferios crea nuevas combinaciones de elementos mentales que usualmente se encuentran aislados. Esto permite analizar un problema desde una perspectiva diferente (Lindell, 2011; Razumnikova, 2007).

Petsche (1996) observó la importancia de la interacción interhemisférica durante la ejecución de tareas creativas a través de un estudio basado en la coherencia. En dicho estudio se reportó que las actividades de creación de una imagen y la composición mental de una pieza musical mostraron un incremento en la coherencia a larga distancia entre regiones cerebrales intra e interhemisféricas.

2.4.3 El cerebro creativo vs el no creativo

La hipótesis de partida se basa en que el cerebro funciona diferente dependiendo del tipo de actividades que las personas están acostumbradas a hacer. Por ejemplo, el cerebro de un pintor no funciona igual que el de un matemático, debido a que sus actividades cotidianas suelen estimular áreas cerebrales distintas. Por este motivo, a pesar de que este estudio se basa en el análisis de la creatividad en sujetos noveles, sería importante observar las diferencias que existen entre cerebro creativos y no creativos durante la realización de actividades creativas en estudios futuros. Diversos estudios han examinado la diferencia de la actividad neuronal entre personas que muestran altos niveles de creatividad de acuerdo con pruebas de creatividad, tales como la prueba de Torrance (Baker, 2013).

Estudios basados en EEG indican que las personas creativas muestran niveles altos de actividad en la banda alfa, mayor activación y dominancia del hemisferio derecho y sincronización de bandas (aumento de la potencia en la banda), así como un aumento de la coherencia entre las regiones occipitales y frontotemporales (Dietrich y Kanso, 2010). Además, las zonas activadas del cerebro son diferentes para los diferentes tipos de actividades creativas. En el caso del arte pictórico, estudios basados en fMRI han mostrado que, durante el proceso de diseño de un objeto, las áreas del cerebro que mostraron activación fueron el giro frontal inferior derecho, la corteza prefrontal, corteza occipital, corteza parietal inferior derecha, corteza temporal inferior y el hipocampo. Mientras que, para actividades relacionadas a la copia de un dibujo, tanto para artistas como para no artistas, la principal área activada fue el área prefrontal inferior derecha y, para el caso exclusivo de artistas, el área del parietal posterior derecho (Dietrich y Kanso, 2010).

Según un estudio realizado por Petsche (1996), en donde se le pidió a un grupo de mujeres (mitad artistas y mitad noveles) que crean una imagen mental para que después plasmarán dicha imagen en un bosquejo. Los resultados mostraron que las bandas de frecuencia más involucradas fueron las bandas de frecuencia bajas: theta, alfa y beta. También se notó una independencia entre los lóbulos frontales cuando los sujetos creaban una imagen mental. Por otro lado, Bhattacharya y Petsche (2005),

realizaron otro estudio donde se cuantificó la actividad cerebral durante la creación de un dibujo mental a dos grupos de mujeres, un grupo artista y otro no artista. En el mismo, pudieron observar que se obtuvo una mayor sincronización en la banda delta en las regiones occipitotemporal en el grupo de artistas, mientras que la sincronización de las bandas beta y gamma predomina en las áreas prefrontales es notablemente mayor en el grupo de los no artistas. Además, los artistas también presentaron un efecto de asimetría hemisférica con mayor sincronización en el hemisferio derecho.

2.5 ANTECEDENTES DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Dentro del departamento de investigación en la Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH), se realizó un estudio preliminar, basado en el análisis de potencia espectral de un sujeto novel ante tareas de creatividad artística pictórica (Ortiz, Rodríguez, Iáñez & Azorín, s.f.). En dicho estudio, se empleó un modelo para delimitar las diferentes fases de la creatividad en seis tareas diferentes, las cuales consisten en dos tareas imaginativas, dos tareas de implementación y dos tareas de control, en dónde se incluye una prueba relacionada a la contemplación pictórica, Los resultados de este estudio incluyen un solo sujeto respecto al electrodo FZ. Se observó un aumento en la banda alfa en las tareas de implementación artística debido a la acción motora y una disminución de la banda gamma en las actividades de imaginación y contemplativa respecto a relajación. Sin embargo, no es posible obtener resultados significativos del análisis de un solo sujeto con base en un solo electrodo.



CAPÍTULO 3.

MATERIALES Y MÉTODOS



3 MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se describe el procedimiento experimental realizado en el trabajo, así como la descripción del material y el equipo utilizado, el protocolo de las sesiones experimentales y las técnicas de procesamiento y análisis de datos utilizados para la búsqueda de los posibles resultados.

3.1 ADQUISICIÓN DE EEG

El registro de la información EEG fue realizado a través del equipo Brain Products GmbH (Alemania), el cual cuenta con un arreglo de 31 electrodos húmedos activos, colocados en posiciones estandarizadas con base en el sistema internacional 10/10 de EEG, como se muestra en la Figura 2 (FZ, FC5, FC1, FCZ, FC2, FC6, C3, CZ, C4, CP5, CP1, CP2, CP6, P3, PZ, P4, PO7, PO3, PO4, PO8, FC3, FC4, C5, C1, C2, C6, CP3, CPZ, CP4, P1, P2). El electrodo de referencia se colocó en el lóbulo de la oreja derecha y el electrodo de tierra se colocó en AF2.

Los electrodos fueron posicionados con ayuda del gorro actiCAP de Brain Products GmbH. El registro de las señales se envió a un computador a través de un cable mediante el amplificador actiCHamp a una frecuencia de muestreo de 500 Hz, con una actualización de ventana de medición cada 100 muestras (0.2 segundos). El *software* utilizado para el registro de las señales fue el Brain Vision, de la misma marca, el cual transmitía los datos a MATLAB para su posterior procesamiento.

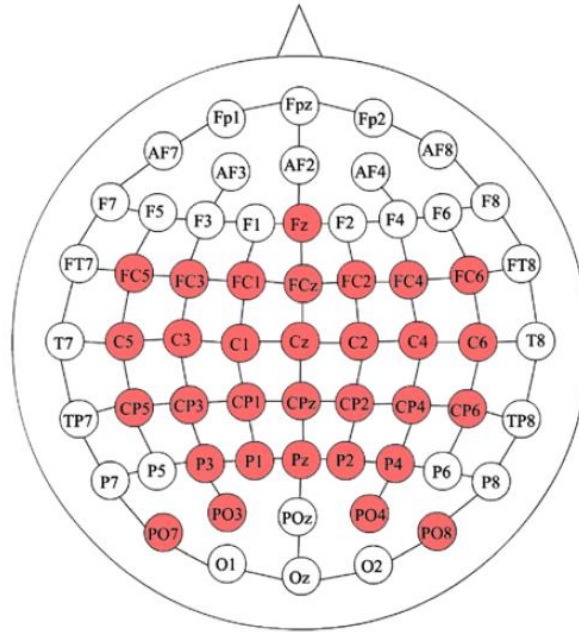


Figura 2. Posicionamiento de electrodos utilizado para el registro de las señales EEG, colocados según el sistema internacional 10/10. Tomado de pictórica (Ortiz, Rodríguez, Jáñez & Azorín, s.f.)

3.2 USUARIOS

Las pruebas fueron realizadas a cinco sujetos, los cuales tienen una media de edad de 35 ± 4.4 años. Ninguno de los sujetos tenía experiencia profesional en el arte pictórico. En la Tabla 1 se muestra el código de identificación, la edad, el sexo de los sujetos y su experiencia en actividades relacionadas al arte pictórico.

Tabla 1. Sujetos de estudio

Sujeto	Experiencia
A09	Novel
A13	Novel
A14	Amateur
A16	Novel
B85	Novel

3.3 PROTOCOLO DE PRUEBAS

El protocolo experimental utilizado para las pruebas se realizó anteriormente por el Dr. Mario Ortiz en acuerdo con las recomendaciones del comité de ética de la Universidad Miguel Hernández de Elche en España. Se obtuvo el consentimiento firmado por todos los sujetos de experimentación de acuerdo con la Declaración de Helsinki. A continuación, se listan los pasos seguidos dentro del protocolo anteriormente mencionado:

1. Se seleccionaron los participantes que cumplieron con los siguientes criterios:
 - a. Los sujetos desconocían las actividades específicas a realizar. Los usuarios sí fueron informados previamente de que iban a realizar dibujos con acuarelas y lápices acuarelables con base en unas láminas que se les iban a mostrar, así como que se iba a llevar a cabo la medida de sus señales de EEG, a lo que dieron consentimiento firmado.
 - b. Los sujetos tienen poca o nula experiencia profesional en arte pictórico, como dibujo, pintura y arte digital.
2. Se explicó al sujeto de pruebas el protocolo que estaría siguiendo a lo largo de las pruebas, sin revelar mucha información acerca del tipo de prueba a realizar, sino que solo se le explicó el tiempo de cada prueba, el inicio y fin de esta, así como los pasos a seguir al inicio de cada una.
3. Se acomodó el gorro actiCAP descrito anteriormente, con el montaje de electrodos colocados previamente. El gorro actiCAP es ajustado dependiendo del tamaño y forma de la cabeza del sujeto de prueba, midiendo con una cinta el centro de la cabeza desde el nasion hasta el inion y desde cualquier punto de referencia de la oreja izquierda a su equivalente en la oreja derecha, siendo la intersección de ambas mediciones el electrodo CZ.
4. Antes del inicio de cada prueba se le pidió al sujeto que se sentara de forma erguida, con las manos apoyadas sobre la mesa (como se muestra en la Figura 3), y se le entregó una tarjeta con una breve explicación de la prueba. Después el sujeto mantuvo los ojos cerrados hasta que se le indicara.

5. El inicio de la prueba se marcó con un estímulo sonoro, tras el cual el sujeto tenía que abrir los ojos y procedía a realizar la prueba propuesta (léase la sección 3.4 para más información). El final de la prueba se marca con el mismo estímulo sonoro para que el sujeto desistiera de la actividad que se estaba realizando.
6. Los pasos 4 y 5 son repetidos para cada una de las 4 pruebas realizadas.
7. El sujeto no podía repetir las pruebas, a excepción de la prueba 3.

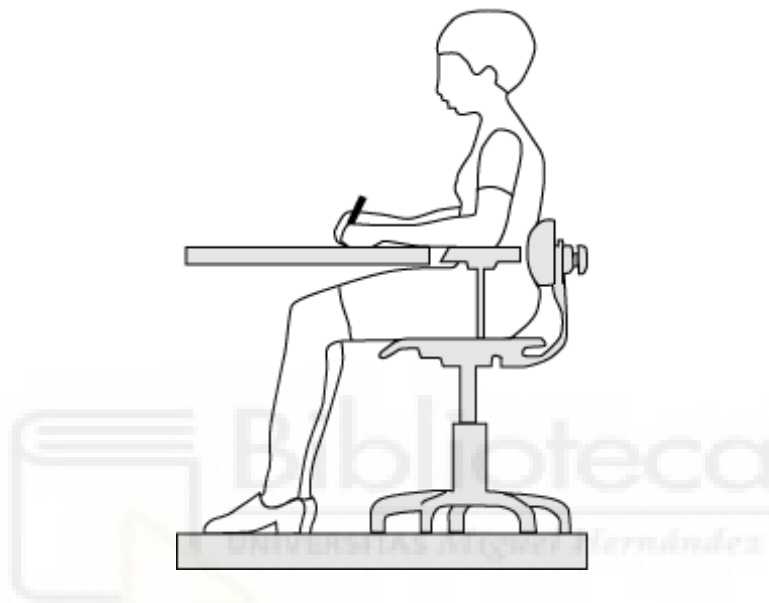


Figura 3. Posición adecuada del sujeto para la realización de cada una de las pruebas.

3.4 DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS CREATIVO-ARTÍSTICAS

Dado que la actividad cerebral durante la realización de una actividad creativo-artística depende de varios procesos mentales (Dietrich y Kanso, 2010), el protocolo de las pruebas intenta acortar el proceso creativo en cuatro etapas: dos pruebas de improvisación artística, una prueba de contemplación y una última prueba de relajación. Cada prueba tiene una duración de 17 segundos, de los que se desprecian los dos primeros segundos para evitar potenciales evocados acústicos.

3.4.1 Improvisación 1 (código 301)

La evaluación de la actividad creativa durante el proceso creativo se lleva a cabo en el proceso de improvisación artística al mostrarle una lámina al sujeto con manchas de acuarela en color negro, como se observa en la Figura 4. El propósito de la prueba es que el sujeto observe la lámina y se concentre en imaginar colores, formas y texturas que su mente crea a partir del estímulo de observar la lámina.



Figura 4. Lámina en acuarela abstracta utilizada en la realización de la prueba 301, la cual fue mostrada a cada sujeto de prueba durante un periodo de 17 segundos.

3.4.2 Improvisación 2 (código 303)

Esta prueba se encuentra basado en el Test de Torrance (The Alberta Teacher's Association, 2007), en el cual se le enseña al sujeto una imagen geométrica sencilla de dos líneas paralelas. Durante el tiempo de duración de la prueba el sujeto deberá imaginar un dibujo que incluya a la figura mostrada y un título para la obra, el cual describa lo que quiere representar el dibujo.

3.4.3 Contemplación pictórica: Neuroestética (código 305)

Con el fin de evaluar la actividad cerebral durante la contemplación artística y la diferencia entre la contemplación y la imaginación, durante esta prueba el sujeto contemplará una pintura, la cual no deberá ser conocido por el mismo. En caso de

que el sujeto conozca la pintura, se procederá a repetir la prueba con una pintura diferente.

3.4.4 Relajación (código 306)

La última prueba tiene como objetivo obtener la actividad cerebral del sujeto cuando deja su mente en blanco evitando cualquier tipo de pensamiento o acción. Esta prueba se realiza con los ojos abiertos y enfocándolos a un punto del espacio de la mesa donde el sujeto se encuentra apoyado.

3.5 ANÁLISIS DE LOS DATOS

Una vez obtenidos los registros de EEG, las señales fueron procesadas. Se utilizaron dos métodos de procesamiento de datos. En el primero, se aplicó la transformada de wavelet para eliminar los artefactos provocados por parpadeos. A continuación, se eliminó la corriente de continua a través de un filtro Butterworth pasa alta de orden 4 a 0.5 Hz, mientras que los componentes de alta frecuencia con poca información relevante para el análisis fueron atenuados con un filtro Butterworth pasa baja de orden 4 a 100 Hz, y se suprimió la interferencia de la red eléctrica con un filtro Notch a 50 Hz. Por último, se utilizó un filtro espacial de referencia de promedio común (CAR, por sus siglas en inglés) para realizar la actividad local de cada canal. El segundo análisis, consiste en el mismo procedimiento, con la diferencia de que se reemplazó el filtro espacial CAR por un filtro espacial Laplaciano. Después se eliminaron los primeros dos segundos de cada registro para eliminar potenciales evocados por el estímulo sonoro, tal como se menciona en la sección 3.4. Una vez procesados los datos, se realizó un análisis de conectividad.

3.5.1 Análisis de conectividad

Las señales de EEG se modelan a través de un modelo autorregresivo (AR) (Cadena, 2019), el cual ayuda a predecir los valores presentes de una serie de tiempo a partir de los valores previos. Sin embargo, un modelo multivariable autorregresivo (MVAR, por sus siglas en inglés), además de contener un modelo para cada una de las series de tiempo, también contiene un modelo para poder determinar relaciones que son fisiológicamente relevantes entre las señales medidas (Hytti, Takalo e Ihalainen, 2006). El orden del modelo fue obtenido mediante el criterio Bayesiano, obtenido a través de la implementación de la librería ARfit. En particular, el orden (P) se obtiene con el menor error cuadrático medio de predicción para cada señal M de los M canales de EEG (Neumaier y Schneider, 2001). Una vez determinado el orden, con la misma librería se calcularon los coeficientes predictores para cada una de las matrices $x_{1...M}(n)$ del modelo MVAR, a través de la siguiente fórmula

$$x(n) = \sum_{p=1}^P A_p x(n-p) + e(n)$$

donde, A_p es una matriz de tamaño $M \times M$ en donde el elemento $A_p(i, j)$ mide la influencia que la variable j ejerce sobre la variable i después de p muestras en el dominio del tiempo, mientras que el elemento $e(n)$ representa el ruido Gaussiano blanco para cada matriz ($M \times M$) (Chiang, Wang y McKeown, 2009).

Una vez que los parámetros del Modelo MVAR son estimados, estos parámetros se deberán pasar al dominio de la frecuencia (Porcaro et al., 2013):

$$H(f) = \left[I + \sum_{p=1}^P A_p e^{-2\pi p f \Delta t} \right]^{-1} = [A(f)]^{-1}$$

donde I es la matriz de identidad, Δt es el intervalo de muestreo de datos y la matriz $H(f)$ es la transformación al dominio de la frecuencia de la matriz A_p estimada por el modelo MVAR.

Los coeficientes de predicción $A(f)$ son utilizados para estimar las correlaciones entre los canales j a i (π_{ij}) a través del uso de la coherencia parcialmente dirigida (PDC, por sus siglas en inglés), la cual se define como (Baccalá y Sameshima, 2001):

$$\pi_{ij}(f) = \frac{|A_{ij}(f)|}{\sqrt{\sum_{n=1}^M |A_{nj}(f)|^2}}$$

donde

$$A_{ij}(f) = \begin{cases} 1 - \sum_{p=1}^P A_p e^{-2\pi p f \Delta t}, & \text{si } i = j \\ - \sum_{p=1}^P A_p e^{-2\pi p f \Delta t}, & \text{otro caso} \end{cases}$$

La función de PDC contiene valores entre el rango de 0 y 1 para cada frecuencia. Un valor cercano a 1 indica una alta relación con direccionalidad desde el nodo j al i para una frecuencia específica, mientras que un valor cercano a 0 indica que no hay influencia desde el nodo j al nodo i (Porcaro et al., 2013). Por lo tanto, la PDC permite determinar si diferentes áreas del cerebro generan señales que están correlacionadas entre sí a través de la estimación de la consistencia relativa entre la amplitud y fase de las señales en bandas de frecuencia particulares (Leistritz et al, 2013). De esta manera, es posible establecer la interacción entre los nodos j sobre i en relación con otros electrodos, cuyos valores son normalizados respecto a la zona del cerebro que envía la información.

El orden que se obtuvo para las cuatro tareas a través de la librería ARfit fue de 14, el cual fue utilizado para obtener los coeficientes del MVAR. El procesamiento de las señales de EEG de las cuatro tareas tanto para la función ARfit como PDC se realizó a través de ventanas de procesamiento de 1 segundo, obteniendo de esta manera, 15 ventanas de tiempo para los 31 electrodos en el rango de frecuencias de 1 a 45 Hz en incrementos de 1 Hz. Los resultados obtenidos por la PDC fueron divididos en bandas de frecuencia: theta (4-7 Hz), Alfa (8-12 Hz), beta (13-30 Hz) y gamma (31-45 Hz).

3.5.1.1 Análisis estadístico

Una vez obtenida la PDC para cada una de las tareas, se realizó un análisis estadístico entre pares de tareas, como se observa en la Figura 5, con el fin de comparar ambas pruebas imaginativas (301 vs. 303), las pruebas imaginativas contra

la contemplación (301 vs. 305, y 303 vs. 305) y las pruebas imaginativas y contemplativa contra relajación (301 vs. 306, 303 vs. 306, y 305 vs. 306).

La comparación de las tareas se llevó a cabo para cada una de las bandas de frecuencia a través de la prueba Wilcoxon Rank Test con una significancia de $\alpha=0.05$. Se registraron los pares de electrodos ij que fueran significativamente diferentes (SD). Para ello, se obtuvo una matriz de tamaño $M \times M$ que contenía los valores iguales a 1 y 0, donde 1 representa el par de electrodos ij estadísticamente significativos. Después se generó otra matriz de tamaño $M \times M$ con la sumatoria de todos los pares de canales que fueran SD para todos los sujetos, siendo el máximo número de interacciones posibles 5 y el mínimo 0. Por último, se obtuvieron las interacciones significativamente diferentes de entradas y salidas de cada electrodo en dirección j a i (véase sección 4.1 para más información).

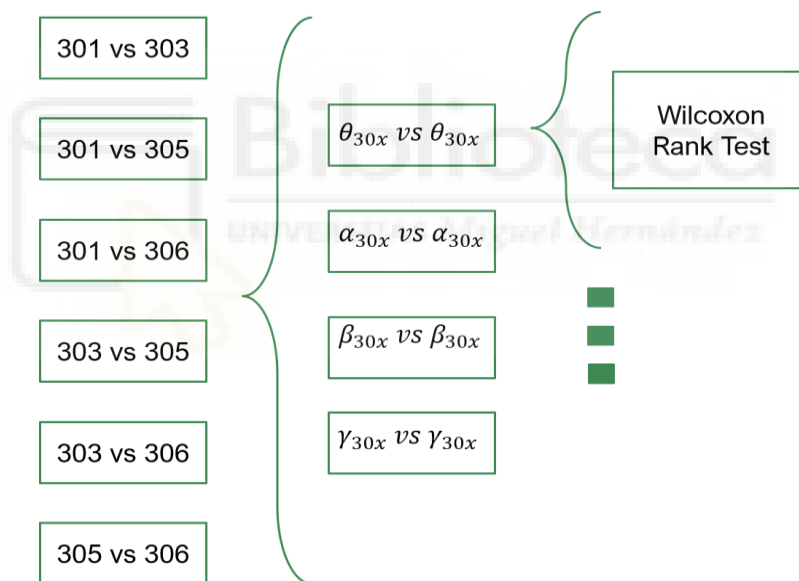


Figura 5. Procedimiento utilizado para realizar el análisis estadístico de la comparación de tareas en el análisis PDC.

3.5.2 Análisis en potencia

Como análisis complementario al análisis PDC, se realizó un análisis en potencia, en dónde se utilizó el segundo método de procesamiento de datos (véase sección 3.5), con el fin de poder observar las zonas cerebrales con mayor actividad para cada sujeto en las diferentes tareas, así como la similitud en los patrones de la distribución

topográfica de la potencia del EEG de los sujetos. De igual manera que para el análisis PDC, las señales EEG se dividieron en bandas de frecuencia (theta, alfa, beta y gamma). Se optó por el método de análisis espectral de Welch en ventanas de procesamiento de 1 segundo, con un tamaño de ventana de 500 muestras y sin traslape. Para obtener una media de potencia significativa de cada sujeto en la respectiva banda de frecuencia analizada, solamente se utilizaron los datos que representan una muestra significativa, tomando el 68% de los datos a partir del centro de la distribución. Este método se utilizó individualmente para cada sujeto. Posteriormente, para sacar la potencia de todos los sujetos para cada tarea, se realizó una media de las ventanas de tiempo por banda de frecuencia.



CAPÍTULO 4.

RESULTADOS





4. RESULTADOS

En esta sección se presentan los principales resultados con base en los datos obtenidos por el análisis de la PDC y en potencia.

4.1 ANÁLISIS DE LA PDC

La Figura 6 muestra todas las interacciones significativamente diferentes (ISDs) de la PDC al comparar tareas distintas (301 vs. 305, 301 vs. 306, 303 vs. 305, 303 vs. 306, 301 vs. 303 y 305 vs. 306) en las diferentes bandas de frecuencia (theta, alfa, beta y gamma). Los electrodos que tienen mayor cantidad de interacciones de salida se muestran en color azul mientras que los electrodos que muestran más interacciones de entrada se despliegan en color rojo. Las barras de colores indican el número máximo de ISDs que tienen los electrodos de entrada y salida en el par de tareas comparadas en la banda de frecuencia correspondiente. El número de ISDs indican que tan diferente es una tarea respecto a la otra, por lo que un menor número de ISDs denota mayor parecido entre las tareas.

Tomando en cuenta el comportamiento de los mapas topográficos de la Figura 6, las bandas de alta frecuencia (beta y gamma) muestran patrones de comportamiento similares, tanto en el caso de entrada y salida respectivamente, también cabe mencionar que estas bandas tienden a poseer electrodos con mayor cantidad de ISDs.

La Tabla 2 muestra de forma global el número de ISDs para cada una de las tareas comparadas en las diferentes bandas de frecuencia. Tanto en la Figura 6 como en la Tabla 2 se observa que las bandas de frecuencia que tienen menos ISDs son las bandas de baja frecuencia (theta y alfa), mientras que las bandas de alta frecuencia, independientemente del par de tareas a comparar, tienden a tener alrededor del 80% de las ISDs.

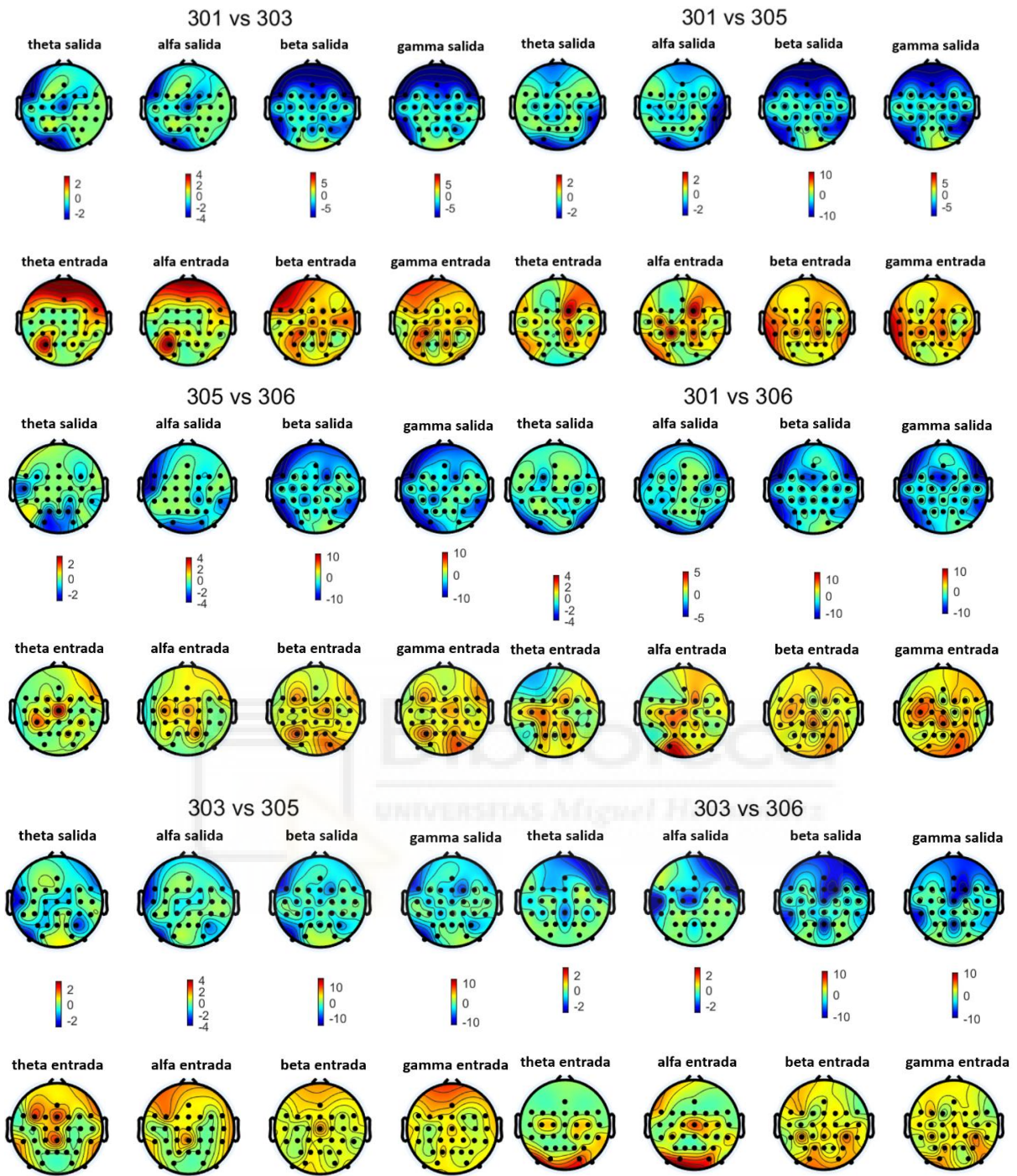


Figura 6. Número de ISDs para el arreglo de electrodos en cada caso de comparación de tareas.

Tabla 2. Número de interacciones significativamente diferentes por banda en cada uno de los seis pares de tareas.

Actividad	Theta	Alfa	Beta	Gamma	Total de interacciones por sujeto
301 vs 303	18	22	92	81	213
301 vs 305	17	24	109	90	240
301 vs 306	23	35	124	110	292
303 vs 305	17	18	89	76	200
303 vs 306	14	17	87	74	192
305 vs 306	13	21	91	87	212
Total de interacciones por banda	102	137	592	518	

4.1.1 Direccionalidad

Dado que la PDC permite observar la direccionalidad (en dirección de los electrodos j a i) se graficaron las ISDs para cada comparación de tareas en sus respectivas bandas. Sin embargo, debido a que en las bandas de alta frecuencia existen más de 70 interacciones de entrada y de salida, se optó por mostrar solamente aquellos electrodos que tuvieran el máximo número de entradas o de salidas por banda e interacción. La Figura 7 muestra con flechas de color azul los electrodos que cuentan con un mayor número de salidas y en rojo los electrodos que reciben mayor número de ISDs con el objetivo de observar la tendencia de llegada y salida de información entre las diferentes zonas cerebrales. En la Figura se puede observar que las principales ISDs de salida en las tareas imaginativas (301 y 303) contra contemplación (305) en las bandas de alta frecuencia provienen de la parte posterior de la cabeza del hemisferio izquierdo. Además, para las tareas imaginativas contra relajación (306) principalmente en la banda gamma, se observa un mayor número de ISDs de entrada en el hemisferio derecho. Estos resultados se discuten próximamente en la sección 4.3.1.

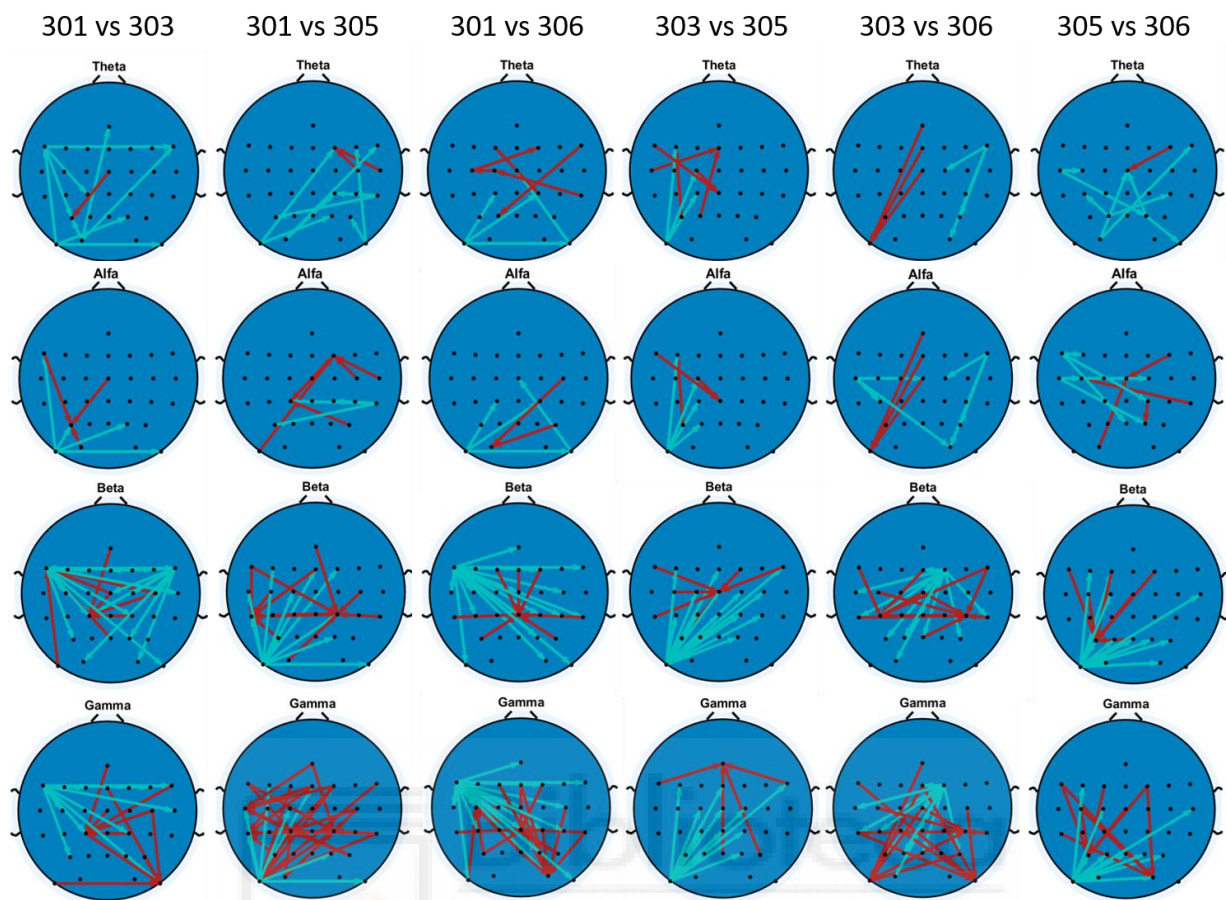


Figura 7. Representación de ISDs de los electrodos con mayor número de entradas (rojo) y salidas (azul) en cada banda para cada comparación de tareas.

4.2 ANÁLISIS EN POTENCIA

Con base en la sección 3.5.2 se describió el análisis de densidad espectral de potencia realizado para conocer cuáles son las zonas cerebrales con mayor actividad en potencia. Cabe destacar que, para obtener una media de potencia significativa de cada sujeto en la respectiva banda de frecuencia analizada, solamente se utilizaron los datos que representan una muestra significativa del 68% de todas las ventanas de tiempo. En la Figura 8 y 9 se muestran los resultados representativos de los distintos sujetos.

En la Figura 8, se presentan los resultados del sujeto A14. Las zonas de color rojo indican las áreas con mayor potencia y las zonas de color azul las zonas que la potencia es cercana o igual a cero. Para analizar el cambio de la potencia de cada banda en las diferentes tareas se estandarizó el valor máximo de la escala de colores de la gráfica por banda. Se muestran los resultados de A14 de forma independiente debido a que era un pintor amateur. Este sujeto presenta mayor diferencia topográfica de la potencia respecto al resto de los sujetos. En particular, este participante muestra una clara actividad en el lateral superior del hemisferio izquierdo tanto en las bandas beta y gamma, principalmente en las tareas artísticas (301, 303 y 305).

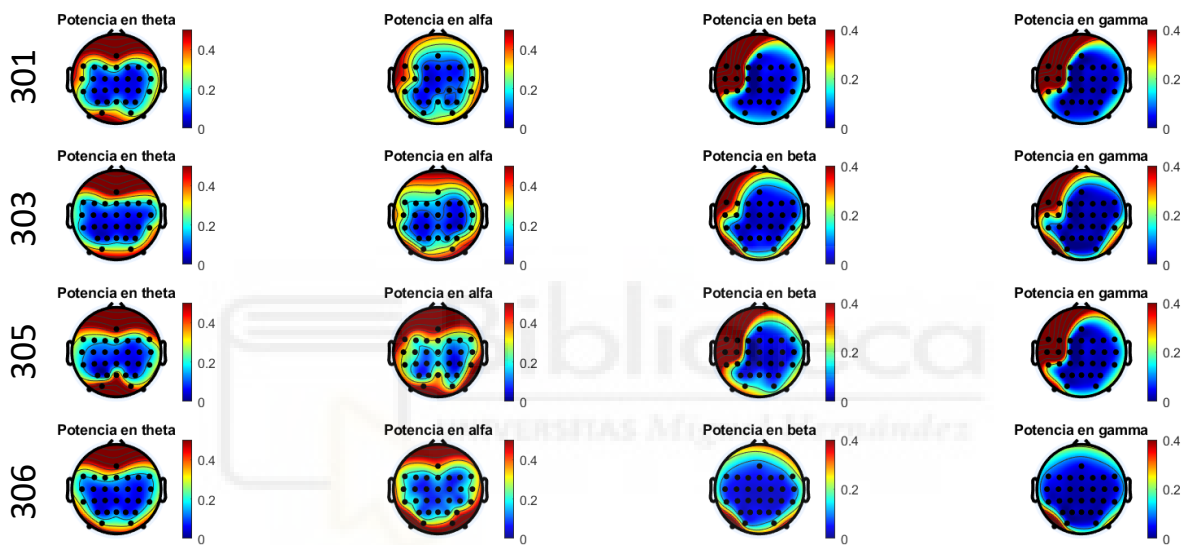


Figura 8. Potencia del sujeto A14 en las diferentes bandas de frecuencia en cada una de las tareas. El rojo indica el valor máximo de potencia en cada banda de frecuencia y el azul representa potencia nula o muy cercana a cero.

La Figura 9 muestra la activación topográfica de la potencia de la banda beta (Figura 9A) y de la banda gamma (Figura 9B) de los sujetos A09, A13 y B85 (tres de los cuatro sujetos restantes) para cada una de las tareas, ya que fueron quienes presentaron patrones de potencia más similares en las diferentes tareas. La principal similitud entre los sujetos observados en las figuras se encuentra entre las tareas imaginativas y la contemplativa (301, 303 y 305), en las cuales se suele observar una mayor potencia en la banda beta en las zonas periféricas de la cabeza en comparación a la relajación. En la banda gamma existe una menor potencia respecto a la banda beta. Sin embargo, es evidente que hay patrones de potencia en beta y gamma variables entre los sujetos. Esto se discute en la Sección 4.3.2.

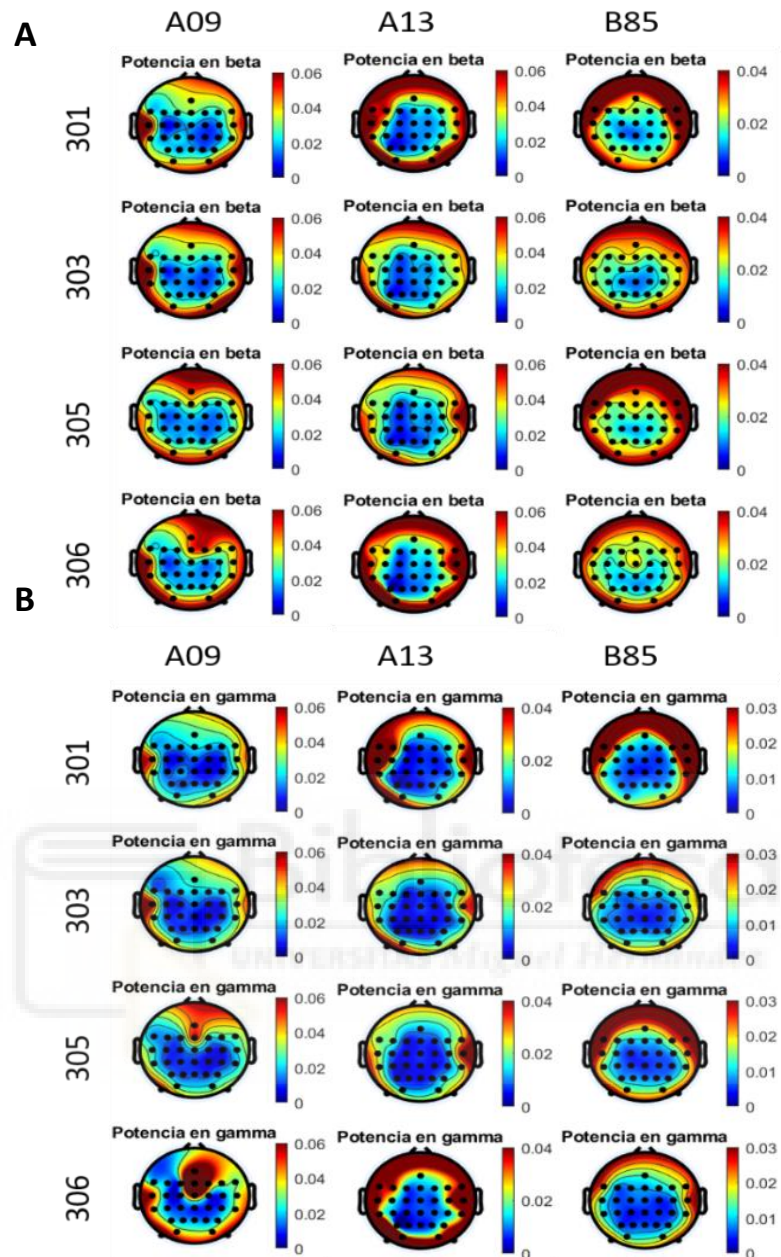


Figura 9. Potencia en las bandas beta (A) y gamma (B) de los sujetos A09, A13 y B85 y el promedio por tarea de los tres sujetos.

4.3 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación, se discuten los resultados presentados en la sección 4.1 y 4.2.

4.3.1 Análisis de la PDC

Como se mencionó anteriormente, el número de ISDs encontradas en el análisis de la PDC es mayor en las bandas de alta frecuencia beta y gamma (Figura 7). Para explicar más claramente estas tendencias, se destacan únicamente los electrodos representativos de las bandas en cuestión. En la Figura 10 y en la Figura 11 se muestran los electrodos que cuentan con más del 50% de las ISDs de entrada y de salida, respectivamente.

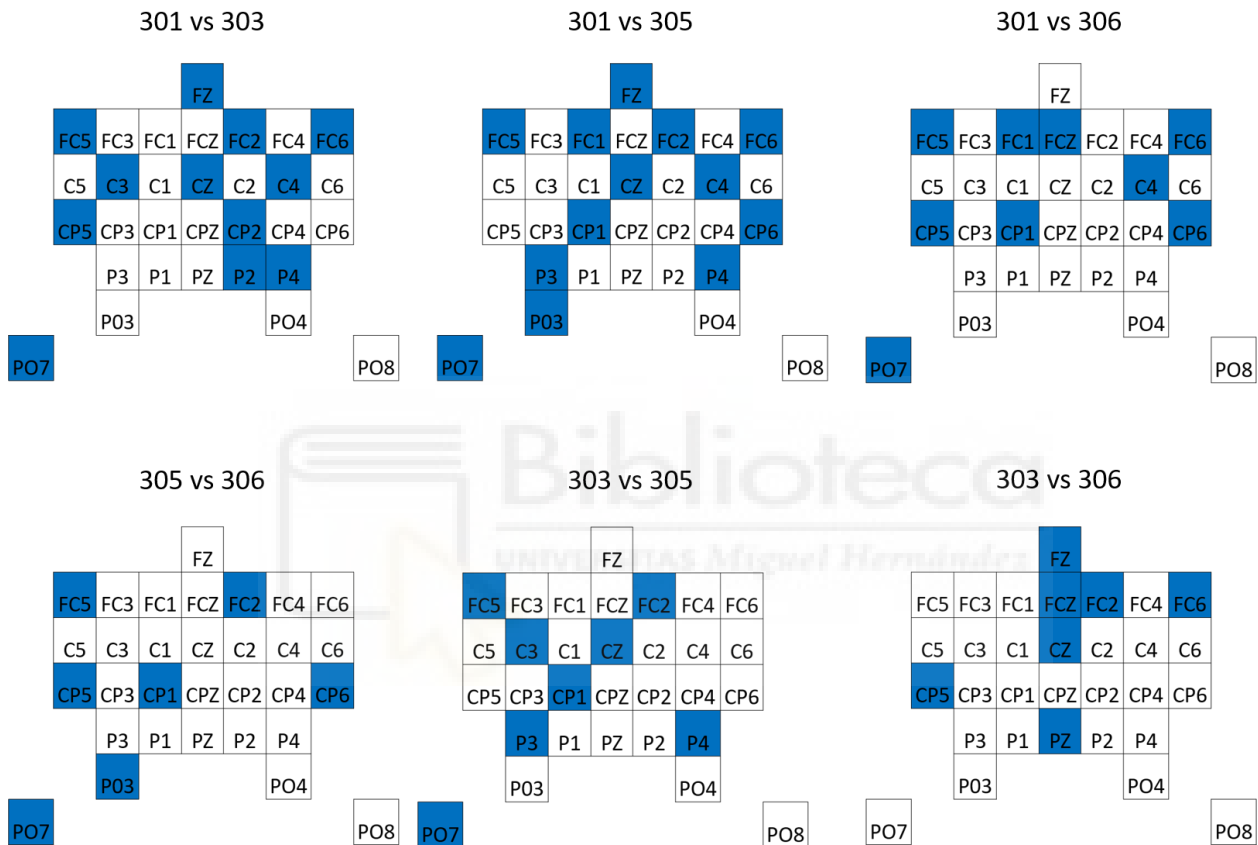


Figura 10. Electrodo de salida representativos principales en las bandas beta y gamma.

Con base en la Figura 10, los electrodos principales de salida que se encuentran presentes en el menos 4 de las 6 comparaciones de las tareas son FC5, FC2, CZ, CP5, PO7, FC6 y CP1, los cuales en su mayoría pertenecen a la periferia del hemisferio izquierdo del cerebro. Por otro lado, en la Figura 11 se muestra que los principales electrodos de entrada que se encuentran en al menos 4 de los 6 casos son FC3, FC1, FC2, FC6, C5, CZ, CP2, PO3, PO7 y PO8. Estos se encuentran tanto en el hemisferio izquierdo como en el derecho, y en menor medida en la zona medial, a excepción de las tareas imaginativa 1 (301) contra relajación (306), donde se observa una mayor dominancia de electrodos con ISDs de entrada en la zona medial, así como en el caso de la tarea imaginativa 2 (303) contra contemplación (305), donde todos los electrodos mediales cuentan con entradas principales.

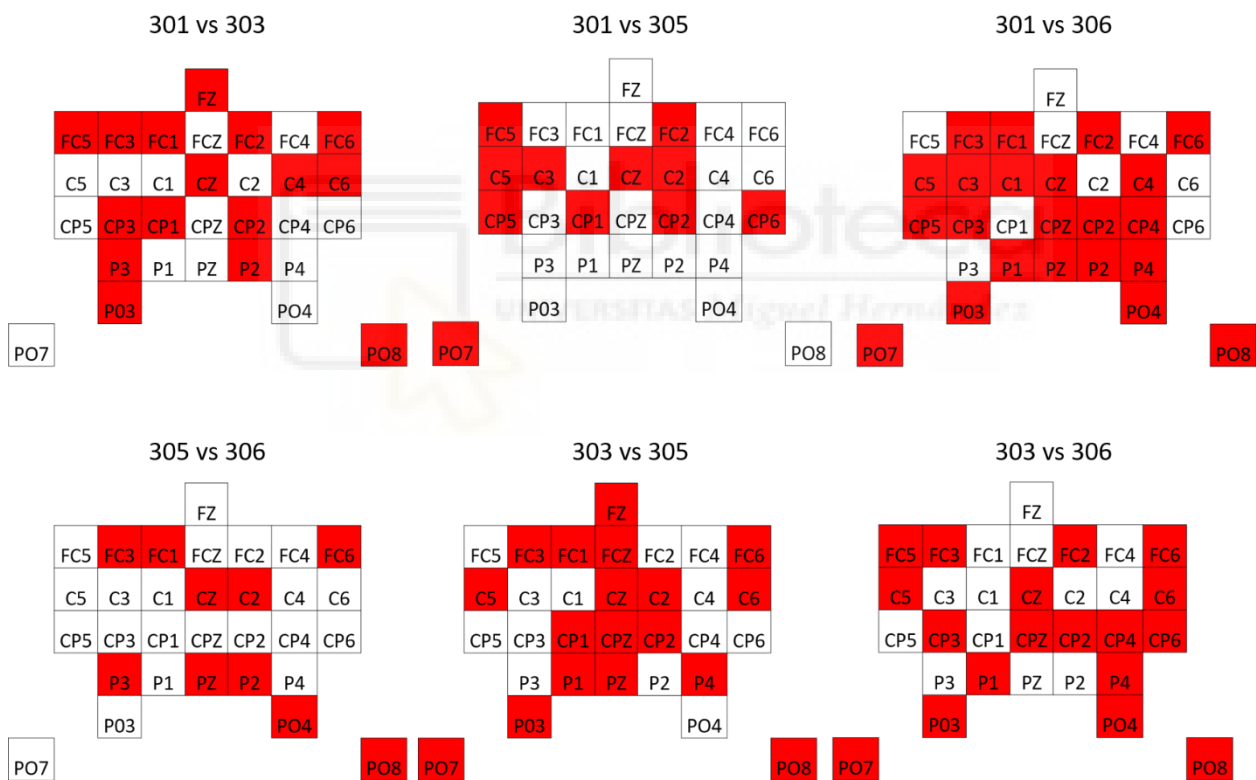


Figura 11. Electrodo de entrada representativos principales en las bandas beta y gamma.

De forma complementaria para este análisis, se muestra en la Tabla 3 los electrodos principales de entrada y de salida para cada par de tareas comparadas que se encuentran presentes en las bandas de alta frecuencia, de acuerdo con la Figura 7, a fin de ayudar a comparar los resultados de los electrodos con ISDs de entrada y de salida de todos los pares de tareas analizados. Para interpretar esta tabla es

necesario considerar que, de acuerdo al sistema internacional 10/10 para la localización estandarizada de electrodos, se considera que aquellos electrodos con terminación en número impar y par se encuentran en el hemisferio izquierdo y derecho, respectivamente, mientras que los electrodos con terminación en “Z” se ubican sobre la zona medial del cráneo. Para facilitar la comprensión de los resultados de todas las comparaciones, se discuten los resultados para cada de tareas:

- **Tarea imaginativa 1 contra tarea imaginativa 2 (301 vs. 303):**

En la Figura 7 puede observarse que en el caso de la banda beta los electrodos con el máximo número de salidas se muestran en ambos hemisferios, mientras que en el caso de la banda gamma las salidas provienen mayormente del hemisferio izquierdo. En el caso de las entradas para ambas bandas, estas ingresan en su mayoría al hemisferio izquierdo. Así pues, puede considerarse que hay comunicación interhemisférica debido a que las ISDs se muestran de forma variable en ambos hemisferios para las bandas beta y gamma, aunque con dominancia de entrada en el hemisferio izquierdo. Esto puede corroborarse en la Tabla 3, donde se muestra que los electrodos con mayor número de ISDs en las bandas beta y gamma se ubican en el hemisferio izquierdo del cerebro. Considerando las entradas de todas estas interacciones, se puede decir que hay dominancia del hemisferio izquierdo para esta comparación de actividades.

- **Tarea imaginativa 1 contra contemplación (301 vs. 305):**

En la Figura 7 se muestra que para las bandas beta y gamma se observa que la mayoría de las interacciones asociadas a los electrodos con mayor número de ISDs entran o salen del hemisferio izquierdo. Lo anterior puede confirmarse en la Tabla 3, ya que todos los electrodos salvo uno de ellos se encuentran en el hemisferio izquierdo. Así pues, puede indicarse que hay dominancia del hemisferio izquierdo.

- **Tarea imaginativa 1 contra relajación (301 vs. 306):**

Para las bandas beta y gamma, se muestra en la Figura 7 que el electrodo con el mayor número de ISDs de salida (flechas azules) se encuentra en el hemisferio izquierdo, donde las entradas de este electrodo se dirigen mayormente a la región medial o derecha en la cabeza. Por otro lado los electrodos con el mayor número de ISDs de entradas (flechas rojas) se encuentran en distintas regiones de la cabeza, aunque la mayoría de estas interacciones se ubican en la zona medial del cerebro o en el hemisferio derecho. Entonces, considerando que la mayoría de las interacciones de los electrodos con mayor número de IDs se dirigen al hemisferio derecho, es posible concluir que hay dominancia del hemisferio derecho.

- **Tarea imaginativa 2 contra contemplación (303 vs. 305):**

En la Figura 7 es posible observar que el electrodo con la mayor cantidad de ISDs de salida se ubica en el hemisferio izquierdo para las bandas beta y gamma, y sus salidas se dirigen a distintas partes de la cabeza, aunque la mayor parte de ellas llega a la región medial o izquierda. Además, los electrodos con mayor cantidad de ISDs de entrada se ubican en la zona medial. Estas ubicaciones específicas de electrodos con mayor cantidad de ISDs pueden encontrarse en la Tabla 3. Considerando hacia dónde se dirigen las ISDs anteriormente explicadas, se puede considerar que esta comparación tiene dominancia izquierda y central.

- **Tarea imaginativa 2 contra relajación (303 vs. 306):**

Para las bandas beta y gamma, se muestra en la Figura 7 que el electrodo con mayor cantidad de ISDs de salida se encuentra en el hemisferio derecho, como puede notarse también en la Tabla 3. Además los electrodos con mayor cantidad de ISDs de entrada se dirigen también al hemisferio derecho. Entonces, esta comparación tendría una dominancia en el hemisferio derecho.

- **Contemplación contra relajación (305 vs.306):**

En la Figura 7, es posible notar que para las bandas beta y gamma el electrodo con mayor cantidad de ISDs de salida se encuentra en la parte posterior del hemisferio izquierdo, mientras que los electrodos con mayor cantidad de ISDs de entrada se encuentran en el hemisferio izquierdo y derecho, de acuerdo a la Tabla 3. Sin embargo, la mayoría de las interacciones de todos estos electrodos convergen en el hemisferio izquierdo o en la región medial. Por este motivo, se indica que esta comparación muestra diferencia con dominancia en el hemisferio izquierdo o en la parte medial de la cabeza.

En general, las comparaciones relacionadas a alguna actividad creativa (301 vs. 303, 301 vs. 305 y 303. 305) muestran dominancia del hemisferio izquierdo, así como la comparación entre contemplación y relajación (305 vs. 306). Por otro lado, todas las comparaciones entre las actividades imaginativas respecto a la relajación (301 vs. 306 y 303 vs. 306) muestran dominancia del hemisferio derecho. Esto sugiere que la comparación de actividades que tienen una diferencia de demanda creativa notable entre sí mostrará mayor diferencia en el hemisferio derecho, esto considerando solo la dominancia anteriormente explicada. En contraste, las actividades con una menor diferencia de demanda creativa mostrarán diferencia de dominancia en el hemisferio izquierdo, esto incluiría la comparación de tareas imaginativas, la comparación entre tareas imaginativas y contemplación o la contemplación y el reposo. Entonces, esto podría indicar que la contemplación tiene un nivel intermedio en criterios artísticos a las tareas imaginativas y a la relajación, por lo que no sería equivalente a la relajación. Además, es necesario mencionar que el electrodo con ISDs de salidas que se encuentra presente en 5 de las 6 posibles comparaciones de tareas es PO7, ubicado en la zona posterior de la cabeza en el hemisferio izquierdo.

Tabla 3. Electrodo con mayor número de interacciones significativamente diferentes en las bandas beta y gamma.

Electrodos con más ISDs en las bandas beta y gamma		
Tareas	Salida	Entrada
301 vs 303	FC5 PO7 FC6	CP1 P3 PO8
301 vs 305	PO7	C5 CP5 CP1 CP2
301 vs 306	FC5	CPZ C3 PO4
303 vs 305	PO7	FZ CZ
303 vs 306	FC2	PO7 PO8 CP4
305 vs 306	PO7	P3

En resumen, en este estudio se observa la importancia de las ISDs entre los hemisferios. Como se mencionó en la sección 2.4.2, la comunicación interhemisférica es relevante durante la realización de actividades creativas, ya que permite la interacción de distintas regiones cerebrales con funciones diversas (Razumnikova, 2007). Sin embargo, aunque que se necesite una mayor comunicación interhemisférica durante la realización de tareas creativas, se conoce que es fundamental la participación del hemisferio derecho en este tipo de actividades (Bhattacharya y Petsche, 2005). A pesar de la posible concordancia con lo anterior, no se pueden realizar conclusiones definitivas de este análisis debido a la ausencia de otros estudios que hayan seguido la misma línea metodológica, es decir, basada en ISDs. Considerando lo anterior y el tamaño de muestra reducido de este proyecto, es deseable realizar a futuro un estudio más amplio con una mayor cantidad de sujetos. Otro aspecto importante a considerar es que en el presente estudio la mayoría los sujetos de prueba están conformados por noveles en arte pictórico. Para este tipo de

participantes, los resultados mostraron mayor dominancia de ISDs provenientes del hemisferio derecho en las actividades creativas. Por este motivo es importante realizar a futuro una comparación con sujetos expertos en actividades tanto de pintura como de dibujo.

4.3.2 Discusión del análisis en potencia

En la Figura 8, la cual se muestra en la sección 4.2, muestra la actividad en potencia del sujeto A14, el cual a diferencia del resto de los sujetos es un pintor amateur. En este sujeto se pueden observar las cuatro bandas de potencias de EEG utilizadas en este estudio. Observando la banda alfa, en la tarea imaginativa 1 (301) se muestra una mayor potencia en el hemisferio izquierdo, específicamente en las regiones cercanas al área temporal. Mientras que en la tarea imaginativa 2 (303) se observa mayor en potencia en FZ y las zonas parietooccipitales en ambos hemisferios respecto a la actividad 301. También es importante mencionar que, durante la actividad contemplativa (305) el sujeto muestra una mayor sincronización en alfa en comparación a las otras dos tareas descritas en las zonas frontales y parietooccipitales de los electrodos cercanos al área temporal de ambos hemisferios del cerebro. Estos resultados no exhiben similitudes con el estudio realizado por Belkofer y Konopka (2008). En este estudio se muestra que, en el grupo de artistas al crear una imagen mental, la potencia en alfa aumenta principalmente en las regiones occipitales, parietales y temporales. Es importante mencionar que la banda alfa en el contexto creativo se asocia con procesos de memoria específicos, como es el caso de la recombinación de ideas no relacionadas, por lo que una mayor potencia de esta banda se cree que corresponde con la construcción de nuevas ideas durante la fase imaginativa, aunque no siempre los resultados siempre parecen ser reproducibles en los distintos estudios (Fink y Benedek, 2014), por lo que la potencia en la banda falta no siempre resulta en un indicador robusto. Cabe destacar que los resultados del presente trabajo sí son acordes a los reportados por Bhattachayra y Petsche (2005), quienes indican que los artistas muestran una disminución en potencia de la banda alfa durante la creación de una imagen mental.

Por otro lado, en la banda beta y gamma del sujeto A14 en las actividades imaginativas (301 y 303) y contemplativa (305) se observa un aumento de potencia en la zona frontal, central y parietal del hemisferio izquierdo en los electrodos cercanos al área temporal. Ahora bien, al analizar a los sujetos A09, A13 y B85 en las bandas beta y gamma, representados en la Figura 9, quienes no están acostumbrados a realizar actividades de dibujo y pintura, se encontró que ellos muestran varianza en potencia de las diferentes zonas cerebrales en las actividades. El sujeto A09, presenta un aumento en potencia en los electrodos C5, PO8, PO4 y C6 durante la realización de la tarea imaginativa 1 (301), mientras que el sujeto A13 muestra un aumento en la potencia en el área parietooccipital de ambos hemisferios y en las zonas frontales y parietales cercanos al área temporal del cerebro con dominancia en potencia en el hemisferio izquierdo, contrario a lo que se observa en el sujeto B85, dónde se muestra incremento en los mismos electrodos pero con dominancia en potencia del hemisferio derecho. Por otro lado, en la actividad 303 en el sujeto A09, se observa un incremento de la potencia en las regiones parietooccipitales y los electrodos cercanos al lóbulo temporal (C5, CP5, FC6, C6 y CP6) en ambos hemisferios. Mientras que A13 y B85, muestran un aumento en la potencia en FZ y en la zona posterior de la cabeza (PO7 y PO8). Para el caso de la actividad contemplativa (305), en A09 y B85 se observa un comportamiento similar en la potencia respecto a la actividad imaginativa 1 (301), con diferencia de la potencia del electrodo FZ y un incremento de la potencia en el área parietooccipital en la actividad 305. En el sujeto A13 la actividad contemplativa es similar a la actividad imaginativa 2 (303), con diferencia de un aumento de la potencia en el hemisferio derecho en el electrodo C6. La desemejanza entre las bandas beta y gamma en las actividades analizadas, corresponde a una disminución de la potencia en gamma respecto a beta, por lo que, a pesar de que los electrodos con mayor potencia son muy similares en ambas bandas, gamma tiende a tener valores de potencia menores a beta.

Dado la variabilidad de los resultados, realizar una comparación global en potencia de los sujetos noveles no mostraría resultados representativos. Sin embargo, comparando los resultados obtenidos con otros estudios, durante la creación de una imagen mental el grupo de sujetos integrado por no artistas muestran un incremento en potencia en la banda beta y gamma (Bhattachayra y Petsche, 2005), más

específicamente en las regiones parietales, occipitales y temporales (Belkofer y Konopka, 2008). Lo cual se asemeja a lo encontrado en este estudio, dónde las principales zonas cerebrales con actividad en potencia fueron las zonas parietooccipitales (PO7 y PO8, principalmente), y los electrodos frontales y centrales ubicados cerca de la región temporal. Cabe mencionar que en este estudio, como se alude anteriormente, también se encontró activación en potencia en la región frontal. Por otro lado, para el caso de la actividad en contemplación, Bhattachayra y Petsche (2002) encontraron una mayor sincronización en las bandas de alta frecuencia (beta y gamma) durante la contemplación visual en las regiones parietales y centrales en el grupo de artistas. Mientras que en el grupo de los no artistas la sincronización de las bandas mencionadas no mostraron resultados significativos. Bhattachayra y Petsche (2002) explican que tanto las bandas delta, beta y gamma tienen un papel importante durante la percepción de artes visuales y mencionan que la falta de sincronización de estas bandas en el grupo de los no artistas podría deberse a que los ojos de los sujetos noveles escanean el campo visual de la obra de forma más aleatoria a diferencia de un sujeto artista. Por otro lado, Belkofer y Konopka (2008), mencionan que la activación de la zona occipital y la zona parietal en las bandas de alta frecuencia refleja un aumento de demanda en la interpretación visual. Lo anterior coincide con los sujetos de estudio, ya que A14 muestra activación en la zona central y centro parietal del hemisferio izquierdo y menor activación en potencia en la zona occipital en potencia en las bandas de alta frecuencia, caso contrario a los sujetos noveles, que si presentan una clara actividad en potencia en la zona parietooccipital. Sin embargo, los sujetos noveles también presentan activación en potencia en la zona central, por lo que resulta inconsistente con el estudio de Bhattachayra y Petsche. Es importante mencionar que la banda gamma se asocia a la recuperación de memoria, así como a la asociación de objetos y activación de memorias asociativas (Keizer, Verment y Hommel, 2010; Horan ,2009). Respecto a la dominancia en potencia de los hemisferios, es importante nombrar que un aumento en potencia en las bandas de alta frecuencia en la zona frontal izquierda se asocia a emociones positivas, mientras que en la zona frontal derecha se asocia a la depresión (Belkofer y Konopka, 2008). Como se mencionó, el sujeto A14 y A13, muestran un aumento en potencia en beta y gamma

en esta zona en el hemisferio izquierdo, por lo que se puede asociar a un disfrute de la actividad realizada.

Considerando la posible variedad de resultados de otros estudios en la potencia de distintas bandas de EEG, es probable que sea necesario tomar en cuenta otros factores que pudieran afectar el desempeño del sujeto, tal como indica Bhattachayra y Petsche (2005). Esto permitiría comparar resultados con aquellos estudios que sean más afines y permitiría obtener resultados más reproducibles.

Recapitulando, el propósito del presente estudio es brindar bases para estudios futuros que tengan como objetivo generar actividades que ayuden al desarrollo cognitivo en niños, así como la creación o refinamiento de terapias basadas en arte pictórico para mejorar el desempeño cognitivo en enfermedades como la demencia. Considerando los resultados obtenidos y los estudios analizados, es importante realizar estudios posteriores dónde se incluya la participación de sujetos artistas, para poder realizar comparaciones importantes, así como enfocar el análisis en las bandas representativas, tales como las de alta frecuencia, así como la banda delta la cual pareciera mostrar relevancia en actividades imaginativas en sujetos artistas (Belkofer y Konopka, 2008). Además, la teoría indica que la zona prefrontal del cerebro juega un papel importante en las actividades creativo-artísticas. Sin embargo, a pesar de encontrar información relevante en el electrodo FZ, es necesario cambiar la configuración de electrodos utilizada por un arreglo de electrodos que permita tomar mediciones del área prefrontal del cráneo. Para solucionar los problemas de variabilidad entre los sujetos, es necesario implementar medidas de selección de sujetos más estrictos, así como un indicador referente al desempeño de cada tarea por individual para evitar resultados no significativos debidos errores tales como la divagación y falta de concentración. Por último, también es importante aplicar una prueba adicional para medir la creatividad, tal como el Test de Torrance que permita encontrar tendencias entre los sujetos que presenten mayor capacidad creativa.



CAPÍTULO 5.

CONCLUSIONES





5 CONCLUSIONES

Durante este trabajo se ha llevado a cabo un análisis de la actividad electroencefalográfica durante la realización de pruebas con distinta demanda creativa. Las herramientas utilizadas incluyen un análisis de coherencia parcialmente dirigida (PDC) y un análisis en potencia. En los resultados de la PDC se pudieron observar algunos patrones en el número de ISDs considerando la direccionalidad de los datos. En particular, se notó que posiblemente la comparación de aquellas actividades con diferencias de demanda creativa notable presentan mayores diferencias en las entradas de ISDs en el hemisferio derecho en los electrodos representativos de la PDC, mientras que si la diferencia de demanda es menor, se observa una dominancia de dichas ISDs en el hemisferio izquierdo. Además, el electrodo con ISDs de salidas que se encuentra presente en 5 de las 6 posibles comparaciones de tareas son PO7 y FC5, ubicado en la zona posterior de la cabeza y en la frontocentral en el hemisferio izquierdo, respectivamente. A pesar de que el análisis de PDC muestra algunos patrones de similitud entre las tareas, el número de sujetos es limitado lo que hace recomendable un aumento de muestras para futuros trabajos. Asimismo, la falta de estudios que utilicen una metodología similar en el análisis hace difícil una comparación de resultados.

Por otro lado, el análisis en potencia muestra variabilidad entre los diferentes sujetos, por lo cual no es posible realizar una comparación conjunta de los mismos. Sin embargo, los resultados encontrados tienen similitud a comparación a algunos estudios, donde se reporta la importancia de la actividad en potencia en diferentes regiones cerebrales que se cumplen en la mayoría de los sujetos, como es el caso de un aumento de potencia en las bandas de alta frecuencia en las zonas parietooccipitales, la cual se relaciona a un mayor esfuerzo visual en los sujetos noveles, así como la activación en potencia del área frontal en el hemisferio izquierdo, la cual se relaciona con un disfrute de la actividad. Sin embargo, es necesario mencionar que la literatura también reporta resultados diversos, por lo que es fundamental considerar otros posibles factores que afecten los resultados.

Los resultados obtenidos servirán como base para futuros estudios dónde se pueda comparar a sujetos noveles con artistas, para observar diferencias en la cantidad de ISDs y el análisis en potencia. De esta forma se podrían obtener resultados que ayuden a encontrar bases más específicas para la creación de investigaciones de terapias artísticas basadas en EEG.





6 REFERENCIAS

- Almeida, L., Prieto, L., Ferrando, M., Oliveira, E., & Ferrándiz, C. (2008). Torrance Test of Creative Thinking: The question of its construct validity. *Thinking Skills And Creativity*, 3(1), 53-58. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2008.03.003>
- Astolfi, L., Cincotti, F., Mattia, D., Marciani, M., Baccala, L., & Fallani, F. et al. (2006). Assessing cortical functional connectivity by partial directed coherence: simulations and application to real data. *IEEE Transactions On Biomedical Engineering*, 53(9), 1802-1812. <https://doi.org/10.1109/tbme.2006.873692>
- Baccalá, L., & Sameshima, K. (2001). Partial directed coherence: a new concept in neural structure determination. *Biological Cybernetics*, 84(6), 463-474. <https://doi.org/10.1007/pl00007990>
- Baker, D. (2013). Art Integration and Cognitive Development. *Journal For Learning Through The Arts: A Research Journal On Arts Integration In Schools And Communities*, 9(1). <https://doi.org/10.21977/D9912630>
- Belkofer, C., Van Hecke, A., & Konopka, L. (2014). Effects of Drawing on Alpha Activity: A Quantitative EEG Study With Implications for Art Therapy. *Art Therapy*, 31(2), 61-68. <https://doi.org/10.1080/07421656.2014.903821>
- Belkofer, C., Konopka, L. (2008). Conducting Art Therapy Research Using Quantitative EEG Measures. *Journal of the Art Therapy Association*, 25(2), 56-63. <https://doi.org/10.1080/07421656.2008.10129412>
- Bhattacharya, J., & Petsche, H. (2002). Shadows of artistry: cortical synchrony during perception and imagery of visual art. *Cognitive Brain Research*, 13, 179-186. DOI:10.1016/s0926-6410(01)00110-0
- Bhattacharya, J., & Petsche, H. (2005). Drawing on mind's canvas: Differences in cortical integration patterns between artists and non-artists. *Human Brain Mapping*, 26(1), 1-14. <https://doi.org/10.1002/hbm.20104>

- Cadena, A., (2019). Análisis de la detección de la imaginación motora del pedaleo al aplicar TDCs (Tesis de pregrado). Universidad de Monterrey, Monterrey, Nuevo León, México.
- Chiang J, Wang Z, McKeown MJ. EEG source extraction by autoregressive source separation reveals abnormal synchronization in Parkinson's disease. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2009:1868-1872. DOI: [10.1109/IEMBS.2009.5332613](https://doi.org/10.1109/IEMBS.2009.5332613)*
- Dietrich, A. (2004). The cognitive neuroscience of creativity. *Psychonomic Bulletin & Review, 11*(6), 1011-1026. <https://doi.org/10.3758/bf03196731>
- Dietrich, A., & Kanso, R. (2010). A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. *Psychological Bulletin, 136*(5), 822-848. <https://doi.org/10.1037/a0019749>
- Ellamil, M., Dobson, C., Beeman, M., & Christoff, K. (2012). Evaluative and generative modes of thought during the creative process. *Neuroimage, 59*(2), 1783-1794. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.08.008>
- Esquivias, M. (2004). Creatividad: definiciones, antecedentes y aportaciones. Recuperado el 20 de febrero de 2020 <http://www.revista.unam.mx/vol.5/num1/art4/art4.htm>
- Fink, A., & Benedek, M. (2014). *EEG alpha power and creative ideation*. Recuperado el 25 febrero 2020.
- Fink, A., Graif, B., & Neubauer, A. (2009). Brain correlates underlying creative thinking: EEG alpha activity in professional vs. novice dancers. *Neuroimage, 46*(3), 854-862. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.02.036>
- Hass-Cohen, N., & Carr, R. (2008). *Art therapy and clinical neuroscience*. Jessica Kingsley Publishers.
- Hee Kim, K. (2006) Can We Trust Creativity Tests? A Review of the Torrance Tests of Creative Thinking (TTCT). *Creativity Research Journal, 18*(1): 3-14. https://doi.org/10.1207/s15326934crj1801_2

- Horan, R. (2009). The Neuropsychological Connection Between Creativity and Meditation. *Creativity Research Journal*, 21(2-3), 199–222. <https://doi.org/10.1080/10400410902858691>
- Hytti, H., Takalo, R., & Ihalainen, H. (2006). Tutorial on Multivariate Autoregressive Modelling. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 20(2), 101-108. <https://doi.org/10.1007/s10877-006-9013-4>
- Kaufman, J. C., & Baer, J. (2006). Intelligent Testing With Torrance. *Creativity Research Journal*, 18(1), 99–102. https://doi.org/10.1207/s15326934crj1801_11
- Keizer, A. W., Verment, R. S., & Hommel, B. (2010). Enhancing cognitive control through neurofeedback: A role of gamma-band activity in managing episodic retrieval. *NeuroImage*, 49(4), 3404–3413. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.11.023>
- Kim, K. (2020). *Can We Trust Creativity Tests? A Review of the Torrance Tests of Creative Thinking (TTCT)*. Recuperado el 25 febrero 2020.
- Leistritz L, Pester B, Doering A, Schiecke, K., Babiloni, F., Astolfi, L. y Witte, H. (2013) Time-variant partial directed coherence for analysing connectivity: a methodological study. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*. 371(1997). doi:10.1098/rsta.2011.0616
- Liggieri, M., Thaut, M., Fornazzari, L., Schweizer, T., Barfett, J., Munoz, D., Fischer, C. (2019). Music Intervention Approaches for Alzheimer’s disease: A review of the literature. *Front. Neurosci*. 13:132 <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00132>
- Lindell, A. (2011). Lateral thinkers are not so laterally minded: Hemispheric asymmetry, interaction, and creativity, *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 16(4), 479-498. <http://dx.doi.org/10.1080/1357650X.2010.497813>
- Martindale, C., Hines, D., Mitchell, L., & Covello, E. (1984). EEG alpha asymmetry and creativity. *Personality And Individual Differences*, 5(1), 77-86. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(84\)90140-5](https://doi.org/10.1016/0191-8869(84)90140-5)

- Miller, B., Boone, K., Cummings, J., Read, S., & Mishkin, F. (2000). Functional correlates of musical and visual ability in frontotemporal dementia. *British Journal Of Psychiatry*, 176(5), 458-463. <https://doi.org/10.1192/bjp.176.5.458>
- Miller, B., Hou, C. (2004). Portraits of artists: emergence of visual creativity in dementia. *Arch Neurol* 61(6):842-4. DOI: 10.1001/archneur.61.6.842.
- Neumaier, A. y Schneider, T. (2001). Estimation of parameters and eigenmodes of multivariate autoregressive models. *ACM Trans. Math. Softw.* 27(1): 27–57. <https://doi.org/10.1145/382043.382304>
- Peterson, R. (2005). Crossing Bridges that Connect the Arts, Cognitive Development, and the Brain. *Journal For Learning Through The Arts*, 1(1). <https://doi.org/10.21977/d91110082>
- Petsche, H. (1996). Approaches to verbal, visual and musical creativity by EEG coherence analysis. *International Journal of Psychophysiology*, 24(1-2), 145-159. [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(96\)00050-5](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(96)00050-5)
- Pinel, J. (2006). Anatomía del Sistema Nervioso. In J. Pinel, *Biopsicología* (6th ed., p. 75). Pearson. Retrieved 19 February 2020, from http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicijlg/Libros_y_mas/2015/08/biop/cap/03.pdf
- Porcaro C, Coppola G, Pierelli F, Seri, S., Di Lorenzo, G., Tomasevic, L.,... Tecchio, F. (2013). Multiple frequency functional connectivity in the hand somatosensory network: an EEG study. *Clin Neurophysiol* 124(6):1216-1224. doi:10.1016/j.clinph.2012.12.004
- Real Academia Española: *Diccionario de la lengua española*, 23.^a ed., [versión 23.3 en línea]. <<https://dle.rae.es>> [20 de febrero de 2020].
- Razumnikova, O. (2007). Creativity related cortex activity in the remote associates task. *Brain Research Bulletin*, 73, 96-102. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2007.02.008>
- Safaei Rad, I., Karimi, L., Ramezani, V., Ahmadi, M., Heshmati, R. y Jafar, E. (2010). Psychometric properties of Torrance test (Persian version) of creative thinking

(A form). *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 5: 1429-1433
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.07.301>

Sakkalis, V. (2011). Review of advanced techniques for the estimation of brain connectivity measured with EEG/MEG. *Computers In Biology And Medicine*, 41(12), 1110-1117.
<https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2011.06.020>

Sawyer, K. (2011). The Cognitive Neuroscience of Creativity: A Critical Review. *Creativity Research Journal*, 23(2), 137-154.
<https://doi.org/10.1080/10400419.2011.571191>

Schwab, D., Benedek, M., Papousek, I., Weiss, E., & Fink, A. (2014). The time-course of EEG alpha power changes in creative ideation. *Frontiers In Human Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00310>

The Alberta Teachers' Association. (2007). Torrance Tests of Creative Thinking (TTCT): *Figural & Verbal*. 2014 (6). Scholastic Testing Service.

