



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Psicología

MEMORIA DE TRABAJO Y CONTROL INHIBITORIO: UN ESTUDIO
DE POTENCIALES RELACIONADOS CON EVENTO

Tesis presentada para obtener el título de Licenciatura en Psicología

Presenta: Héctor Alejandro Cepeda Freyre

Dirige: Gregorio García Aguilar

Fecha: Julio 2017

Índice general

1. Introducción	1
2. Marco teórico	3
2.1. Memoria	3
2.1.1. Modelo teórico de la memoria	4
2.1.2. Neuroanatomía de la memoria	5
2.2. Memoria de Trabajo	9
2.2.1. Memoria de trabajo vs memoria a corto plazo	9
2.2.2. El sistema de la memoria de trabajo	10
2.2.3. Bloc de dibujo visoespacial	12
2.2.4. Bucle fonológico	12
2.2.5. Ejecutivo central	12
2.2.6. Modelos experimentales para el estudio de la memoria	13
2.3. Control inhibitorio	14
2.3.1. Go/No-go	15
2.4. Electroencefalografía	16
2.5. Potenciales Relacionados con Eventos	18
2.5.1. Cómputo de los potenciales relacionados con eventos	19
2.5.2. Ruido en los potenciales relacionados con eventos	20
2.5.3. Componentes de los potenciales relacionados con eventos	21
2.5.4. Componentes de los potenciales relacionados con eventos comúnmente estudiados	22

2.6. Potenciales Relacionados con Eventos y Memoria de Trabajo	24
3. Antecedentes	26
3.1. Relación entre la memoria de trabajo y el control inhibitorio	26
3.2. Ruido sensorial y memoria de trabajo	29
3.2.1. Ruido visual	30
4. Planteamiento del problema	31
4.1. Preguntas de investigación	32
5. Hipótesis	33
6. Objetivos	34
7. Justificación	35
8. Metodología	37
8.1. Muestra	37
8.2. Materiales	38
8.3. Paradigmas experimentales	38
8.3.1. Memoria Visual de Trabajo	38
8.3.2. Ruido visual	41
8.3.3. Control Inhibitorio	42
8.4. Diseño estadístico	44
8.4.1. Análisis estadístico	45
8.5. Procedimiento	46
8.6. Análisis de datos	46
8.6.1. Mediciones conductuales	46
8.6.2. Registros electroencefalográficos	48
9. Resultados	51
9.1. Resultados conductuales	51

9.1.1. Precisión de las respuestas	51
9.1.2. Tiempos de respuesta	52
9.1.3. Teoría de Detección de Señales	53
9.1.4. Relación entre Go/No-go y Tarea de Memoria Visual	55
9.2. Resultados electrofisiológicos	56
9.2.1. Espectro de potencia	56
9.2.2. Componentes sincrónicos	66
9.3. Interacción entre resultados conductuales y resultados electrofisiológicos	84
10. Discusión y conclusiones	85
10.1. Discusión	85
10.2. Conclusiones	87
10.3. Proyecciones a futuro	88
Appendices	99
A. Consentimiento informado	100

Capítulo 1

Introducción

El presente trabajo busca explorar el funcionamiento cognitivo de la memoria de trabajo en condiciones de interferencia sensorial (denominado ruido visual en adelante), así como la posible interacción entre ambos factores y el control inhibitorio. Los constructos estudiados en este documento son los siguientes:

- La **memoria de trabajo** es la capacidad retener información durante periodos cortos de tiempo, así como de utilizar esta información para tomar decisiones y modificar nuestro comportamiento;
- El **control inhibitorio** es una función que le permite a los seres humanos inhibir respuestas conductuales en situaciones en las que dichas respuestas podrían traer consecuencias negativas para el individuo.
- El **ruido visual** es definido como información sensorial de tipo visual que resulta irrelevante para el contexto de una tarea, y es presentada de forma simultánea que la información relevante.

Se utilizó un modelo experimental en conjunto con registros electroencefalográficos para obtener información sobre los constructos mencionados.

El manuscrito comienza realizando una breve presentación teórica de la memoria, y específicamente la modalidad de la memoria conocida como “memoria de trabajo”. Posteriormente se explora el término “control inhibitorio” y algunas de sus posibles

implicaciones. Una vez finalizada la revisión de las capacidades cognitivas a abordar, se presenta una introducción a la electroencefalografía y a la técnica de “Potenciales Relacionados con Eventos”.

Como cierre a las secciones teóricas se realiza un abordaje puntual de estudios previos que han explorado los mismos factores que el presente trabajo.

Respecto a la metodología utilizada en el estudio, en el capítulo 7 se describen con detalle el diseño estadístico, los estímulos utilizados, el paradigma experimental, y las técnicas de análisis de datos utilizadas.

Finalmente, en los capítulos 9 y 10 se presentan los resultados estadísticos y la discusión de los mismos, respectivamente.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Memoria

La memoria es una de las funciones cerebrales primordiales, nos permite retener, almacenar, codificar, y recuperar información (Kandel, Schwartz, Jessell, Siegelbaum, y Hudspeth, 2000; Steck y Steck, 2016, pp. 45-54). Si bien diversos pensadores habían considerado la posible existencia de varios tipos de memoria (Cassel, Cassel, y Manning, 2012), hasta mediados del siglo XX, no se había prestado especial atención experimental a esta idea. En 1958, gracias al trabajo de la doctora Brenda Milner con el ahora famoso paciente “H.M.” (Penfield y Milner, 1958), este campo de investigación cobró relevancia. La doctora Milner demostró que H.M. era capaz de aprender nuevas habilidades motoras, a pesar de no tener recuerdos de haberlas realizado con anterioridad (Milner, Squire, y Kandel, 1998), este hallazgo puso en marcha un gran interés por la exploración experimental de los diversos tipos de memoria.

El trabajo de la Dra. Milner con el paciente H.M. proporcionó al campo de la neurociencia una enorme riqueza teórica (Squire, 2009): las exploraciones iniciales del rol del hipocampo en la memoria, evidencia confirmatoria de la memoria como una capacidad separada de la inteligencia y la atención, evidencia de la existencia de distintos tipos de memoria, y finalmente fuera del ámbito académico estrictamente hablando, el paciente H.M. inspiró y continua inspirando a nuevos científicos interesados en la

fenomenología de la memoria.

2.1.1. Modelo teórico de la memoria

Atkinson y Shiffrin

Poco después de las publicaciones de Brenda Milner respecto a su trabajo con H.M., Atkinson y Shiffrin (1968) propusieron una taxonomía de la memoria explicada en función de su duración temporal: Memoria a largo plazo, el registro sensorial, y memoria a corto plazo; esta clasificación continúa siendo utilizada y expandida hasta la fecha (Li, Christ, Johnson, y Cowan, 2015).

El registro sensorial es aquel componente de la memoria que mantiene información sensorial accesible durante breves periodos de tiempo, en el orden de los cientos de milisegundos (Atkinson y Shiffrin, 1968). La información llega al registro sensorial por medio de los órganos sensoriales y decae rápidamente. Información que es relevante para la persona es trasladada de éste componente hacia la memoria a corto plazo (Atkinson y Shiffrin, 1968).

La memoria a corto plazo desde el punto de vista propuesto por Atkinson y Shiffrin (1968) es un buffer, en el que la información recibida del registro sensorial es almacenada de forma temporal, y a medida que nueva información es recibida la información más antigua es descartada. La memoria a corto plazo tiene limitantes tanto en su capacidad como en su tiempo de retención, sin embargo, aquella información de importancia puede ser trasladada hacia la memoria a largo plazo.

La memoria a largo plazo, es aquella en la que la información permanece almacenada durante más tiempo y con una degradación menor en comparación a los otros tipos de memoria (Atkinson y Shiffrin, 1968, p. 92). Se piensa que una vez que la información ha sido almacenada en la memoria de largo plazo, puede llegar a permanecer en ella por el resto de la vida de la persona (Atkinson y Shiffrin, 1968).

La memoria a corto plazo según Atkinson y Shiffrin (1968) es un buffer de almacenamiento temporal de información, en el que se deposita información

Teoría declarativa

La teoría declarativa se basa en la taxonomía propuesta por Tulving (1985), quien hace un esfuerzo por diferenciar los distintos aspectos de la memoria a largo plazo. En esta teoría, la memoria a largo plazo se divide en dos categorías (Schacter y Tulving, 1994; Steck y Steck, 2016):

1. **Memoria declarativa.** Aquella compuesta por el conocimiento explícito de la persona, todo lo que sabe conscientemente. Esta memoria está compuesta por la memoria episódica, el recuerdo de eventos vividos personalmente, acompañada de información contextual; y la memoria semántica, información que puede ser expresada verbalmente pero no necesariamente fue experimentada personalmente o posee información contextual.
2. **Memoria no-declarativa.** Esta memoria puede no ser consciente, y consiste en memoria procedimental, hábitos, habilidades y movimientos que han sido adquiridos a lo largo de la vida.

J. Fuster

Fuster (2008) plantea que la organización funcional del sistema nervioso central posee una división dicotómica, entre áreas anteriores y posteriores, siendo la brecha entre ambas la cisura de rolando. Fuster afirma que las áreas posteriores se encargan del procesamiento cognitivo de los estímulos sensoriales, mientras que las regiones anteriores llevan a cabo funciones ejecutivas como la planeación y el control motor.

2.1.2. Neuroanatomía de la memoria

Una de las estructuras más notorias en los procesos mnémicos, es la formación hipocampal, compuesta por el hipocampo, el giro dentado, y el subículo (Knowles, 1992), ubicada en la parte medial del lóbulo temporal (Kandel et al., 2000, pp. 1228-1246).

Bird y Burgess (2008, p .185) realizaron una revisión respecto a la relación entre el hipocampo y la memoria, en la cual mencionan las siguientes aproximaciones teóricas respecto al funcionamiento de ésta región anatómica:

1. *Teoría declarativa*: El hipocampo juega un papel importante en todos los tipos de memoria consciente, especialmente en el proceso de formación de recuerdos. Se asume que los recuerdos son consolidados en el neocortex, no en el hipocampo.
2. *Teoría de múltiples trazos*: De forma similar a la teoría declarativa, el hipocampo esta involucrado con las memorias episódica y semántica, sin embargo en esta teoría la memoria episódica sigue dependiendo del hipocampo aún después de la consolidación de recuerdos, mientras que la semántica se independiza.
3. *Teoría de procesamiento dual*: En esta teoría existen dos procesos responsables de la memoria: el primero es la recolección (proceso análogo a la memoria episódica), en el cual el hipocampo se encarga del registro de información contextual en los recuerdos; en el segundo proceso, la familiarización, se evalúan ocurrencias subsecuentes de información almacenada en la memoria, pero el hipocampo no está involucrado.
4. *Teoría relacional*: Esta teoría considera al hipocampo como un área de asociación, coordinando información sensorial con información cognitiva. La naturaleza específica de la asociación llevada a cabo por el hipocampo, y su relación con la memoria declarativa es un tema abierto de investigación respecto a esta teoría.
5. *Teoría del mapa cognitivo*: Una de las funciones del hipocampo en el cerebro de los mamíferos es la construcción y almacenamiento de representaciones espaciales del entorno. Ésta teoría extrapola dicha función sugiriendo que en los humanos el hipocampo ha evolucionado para permitir el procesamiento del contexto espacio-temporal en la memoria episódica.

Sea cual sea el enfoque teórico, existe un acuerdo en la literatura respecto a que el hipocampo se encuentra involucrado en la formación de nuevos recuerdos dentro de

la memoria a largo plazo.

El hipocampo tiene vías aferentes provenientes tanto de zonas corticales (cortezas prefrontal, temporal) como subcorticales (septum, hipotálamo, núcleos del rafe, locus cerúleo). En el caso de las vías corticales, estas proporcionan información sensorial procesada al hipocampo, mientras que las regiones subcorticales tienen un control modulador sobre su actividad (Knowles, 1992). En la figura 2.1 puede observarse la localización del hipocampo.

Respecto a sus vías eferentes, el hipocampo envía información al subículo, la corteza entorrinal, el núcleo accumbens, el hipotálamo y la amígdala (Knowles, 1992). En cuanto a la memoria de corto plazo y/o memoria de trabajo, el hipocampo no juega un papel tan protagónico. Se ha identificado que existen diferentes substratos neuronales para la memoria espacial y la memoria lingüística, estando implicadas las cortezas parietal y occipital en la primera, y el área premotora, la corteza frontal, y el área de Broca en la segunda (Smith, Jonides, y Koeppel, 1996).

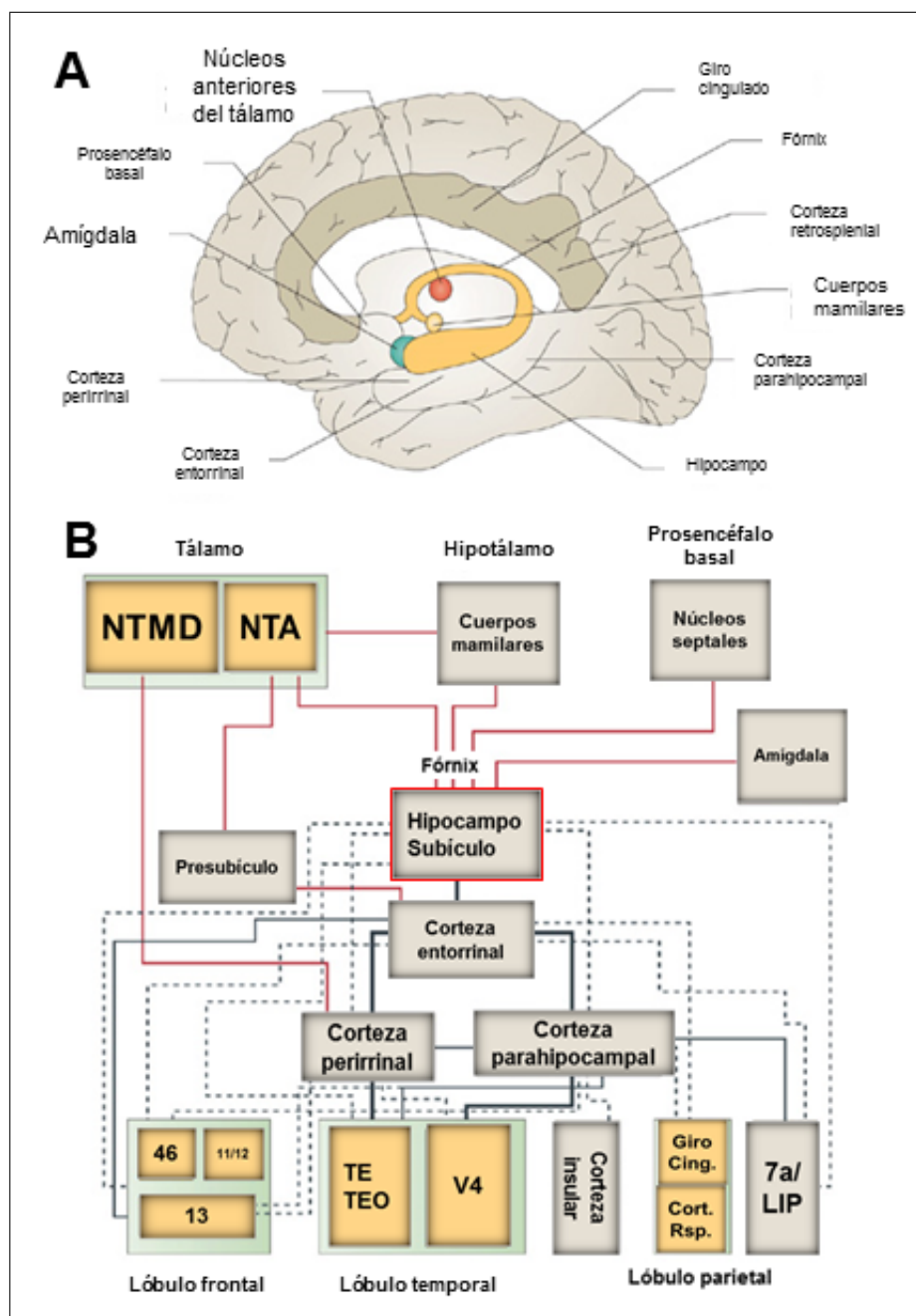


Figura 2.1: **A.** Localización anatómica del hipocampo y las principales estructuras con las que se relaciona. **B.** Conexiones corticales (líneas negras) y subcorticales del hipocampo (líneas rojas). El grosor de las líneas indica la fuerza de la conexión. NTA = Núcleos talámicos anteriores, NTMD = Núcleos talámicos medio dorsales, Giro Cing. = Giro cingulado, Cort. Rsp.= Corteza retrosplenial, LIP = Área lateral intra-parietal. 46, 11, 12, 13, TE, TEO, V4, y 7a representan áreas corticales de Brodmann. Adaptado de (Bird y Burgess, 2008).

2.2. Memoria de Trabajo

2.2.1. Memoria de trabajo vs memoria a corto plazo

Inicialmente, el término “memoria de trabajo” se usó como sinónimo de “memoria a corto plazo” (Atkinson y Shiffrin, 1968); es decir, distintos trabajos de investigación de la época utilizan “memoria de trabajo” para referirse de forma intercambiable a la capacidad simple de retener y recuperar información durante periodos cortos de tiempo, como al procesamiento de información recientemente adquirida.

Sin embargo, la diferencia entre memoria de corto plazo y memoria de trabajo no tardó mucho en definirse de forma clara, particularmente gracias al modelo de Baddeley y Hitch 1974, quienes proponen a la memoria de trabajo como un tipo de memoria flexible, encargada no sólo de retener información, sino también de manipularla. Esta definición contrasta con aquella usada por Atkinson y Shiffrin 1968; mientras que la memoria de corto plazo planteada por estos autores es un sistema relativamente estático, encargado únicamente de retener información, la memoria de trabajo de Baddeley y Hitch es un sistema dinámico, que utiliza de forma activa la información que retiene.

Cowan (2008) realizó una revisión en la cual buscó ampliar y definir las diferencias entre la memoria de trabajo y la memoria a corto plazo. En dicha revisión menciona diversas investigaciones en las que una de las principales diferencias es la implicación del control atencional en la memoria de trabajo; sin embargo, Cowan aterriza en la conclusión de que la distinción entre ambos términos es principalmente semántica, y depende en gran medida de la definición particular usada por cada investigador al elegir un término o el otro. En el presente trabajo es adoptada la definición propuesta por Baddeley y Hitch (1974).

2.2.2. El sistema de la memoria de trabajo

En su planteamiento original, Baddeley y Hitch (1974) postularon que la memoria de trabajo no es un sistema unitario, sino que existen procesos separados para el tratamiento de la información lingüística-fonológica, y la información visual-espacial. Esta división teórica es argumentada por Baddeley y Hitch en base a evidencia experimental, mostrando por ejemplo, que el procesamiento concurrente de información genera decrementos en el desempeño en tareas de memoria de trabajo de forma diferenciada entre modalidades sensoriales; mantener una oración en la memoria de trabajo disminuye el desempeño en tareas que requieren retener información fonética, pero no en tareas que requieren retener información visual, y viceversa, retener una imagen causa decrementos en el desempeño en tareas que requieren retener información visual, pero no en aquellas que utilizan únicamente información fonética (Baddeley y Hitch, 1974, pp. 80 - 81). Esta postura ha sido confirmada empíricamente utilizando la técnica de análisis factorial (Oberauer, Süß, Schulze, Wilhelm, y Wittmann, 2000). Baddeley y Hitch elaboraron entonces un modelo que pudiera dar sentido a la evidencia experimental observada, para lo cual plantearon la existencia de un subsistema encargado de la información lingüística y fonológica al cuál llamaron el “bucle fonológico”, mientras que al subsistema encargado de la información visual y espacial lo nombraron “bloc de dibujo visoespacial”. Finalmente, propusieron la existencia de un sistema central que coordinara ambos subsistemas, a este sistema le llamaron el “ejecutivo central” (Baddeley, 1992; Baddeley y Hitch, 1974).

Baddeley y Hitch sostenían que el sistema de búfer propuesto por Atkinson y Shiffrin es un modelo pobre para describir la memoria de corto plazo, y poniendo como ejemplo el hecho de que uno de los fenómenos atribuidos a la existencia del búfer es el llamado “efecto de frescura”, en el cual la información más recientemente adquirida es más fácil de recordar. Bajo el modelo de búfer, este efecto sería explicado argumentando que la información nueva reemplaza a la antigua dentro del búfer; sin embargo existe evidencia de que este no es el caso, ya que es posible recuperar información relativamente antigua incluso cuándo el límite del búfer ha sido supuestamente superado

y esta información reemplazada por información nueva (Baddeley y Hitch, 1974, pp. 82-85). Este modelo fue actualizado en el año 2000 debido a que el diseño original no lograba explicar ciertos fenómenos observados, de tal forma que fue expandido para abarcar estos fenómenos. Baddeley plantea un nuevo componente de la memoria de trabajo, el “búfer episódico”, y expande el modelo general para dar mayor énfasis a la interacción entre la memoria de trabajo y la memoria de largo plazo (Baddeley, 2000). El modelo completo puede ser observado en la Figura 2.2

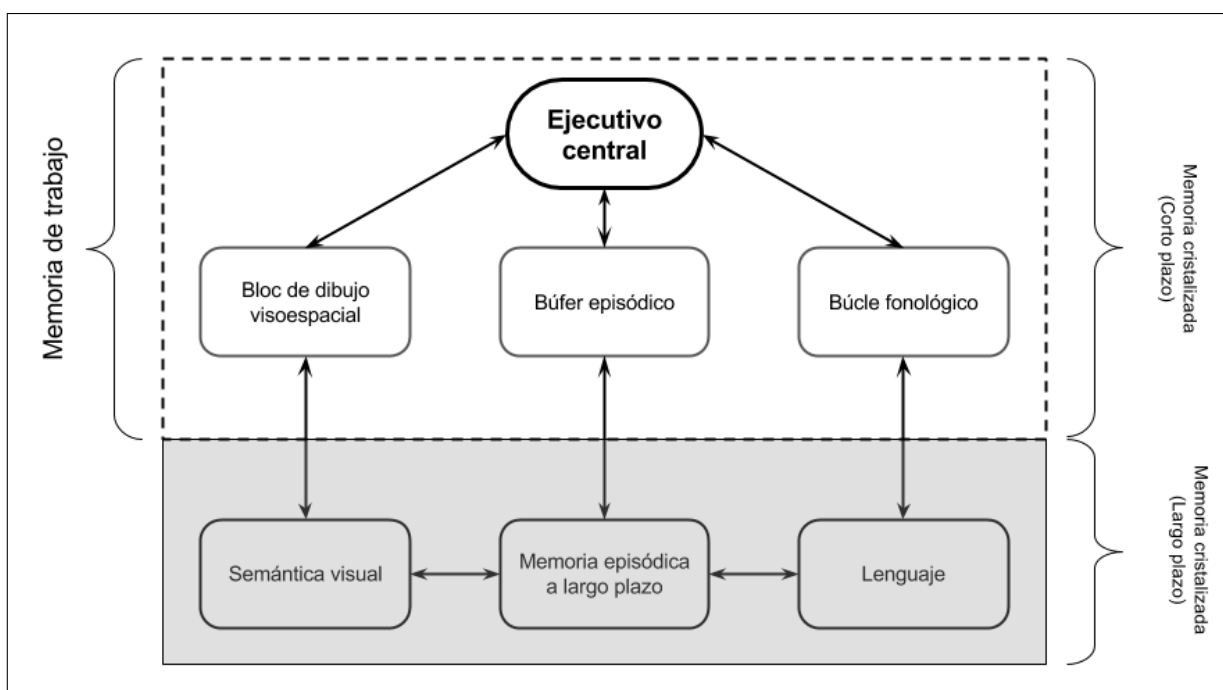


Figura 2.2: Modelo del sistema de la memoria de trabajo. Adaptado de (Baddeley, 2000; Repovš y Baddeley, 2006)

Es claro que la memoria de trabajo es una capacidad que puede variar ampliamente entre individuos (Jarrold y Towse, 2006; Redick, Calvo, Gay, y Engle, 2011; Unsworth y Engle, 2007). En una revisión en torno a este fenómeno, Jarrold y Towse (2006) proponen la existencia de tres posibles fuentes de variación individual en la memoria de trabajo: Variaciones respecto a la capacidad de almacenamiento, variaciones respecto a la eficiencia de procesamiento, y variaciones respecto al funcionamiento ejecutivo responsable de coordinar almacenamiento y procesamiento.

La capacidad de almacenamiento es probablemente una de las primeras características de la memoria de trabajo investigadas, mientras que su utilización en el procesamiento de estímulos fonológicos ha sido la modalidad mas investigada, por lo que la investigación respecto al Bloc de dibujo visoespacial es relativamente joven en comparación con el bucle fonológico (Repovš y Baddeley, 2006).

2.2.3. Bloc de dibujo visoespacial

En su modelo de memoria de trabajo, Baddeley hace una distinción para el tipo de memoria de trabajo que se encarga de la información visual, este subsistema de la memoria de trabajo es llamado “bloc de dibujo visual” por el autor (Baddeley, 2000).

2.2.4. Bucle fonológico

El bucle fonológico es el componente de la memoria de trabajo que se encarga de procesar la información semántica y fonológica. Se compone de dos componentes: el primero es el componente de almacenamiento, el cual retiene información. El segundo componente consiste en un sistema de ensayo, el cual replica la información del componente de almacenamiento por medio de dialogo subvocalizado, esta repetición permite mantener la información retenida mientras se lleve a cabo, y es lo que le da el nombre de “bucle” a este componente (Repovš y Baddeley, 2006).

2.2.5. Ejecutivo central

Este componente se encarga de coordinar los componentes sensoriales de la memoria de trabajo (el bloc de dibujo visoespacial y el bucle fonológico) para utilizar la información retenida en éstos. Asimismo, se encarga de coordinar la recuperación selectiva de información almacenada en la memoria de largo plazo e incorporarla al procesamiento de la memoria de trabajo, por medio del “buffer episódico” (Repovš y Baddeley, 2006). Se piensa que los lóbulos frontales de la corteza cerebral se encuentran altamente implicados en las funciones del ejecutivo central (Baddeley, 2000).

Bufer episódico

El búfer episódico sirve como un componente de almacenamiento temporal en el que es depositada información de la memoria a largo plazo para ser utilizada por el ejecutivo central (Repovš y Baddeley, 2006).

2.2.6. Modelos experimentales para el estudio de la memoria

Cuando las investigaciones sobre la memoria estaban en sus inicios, una de las herramientas más importantes que se utilizó para llegar a la conclusión de la existencia de distintos tipos de memoria fue el estudio de casos clínicos con daño en la corteza temporal del cerebro, en los cuales el paciente perdía la capacidad de formar nuevas memorias pero preservaba aquellos recuerdo que ya poseía; o bien padecía de amnesia retrógrada, perdiendo recuerdos previos, pero preservaba la capacidad de adquirir nuevas habilidades motoras (Atkinson y Shiffrin, 1968, pp. 93-98). Sin embargo el estudio de casos clínicos con daño cerebral no permite la separación taxonómica de la memoria en categorías con mayor especificidad funcional, para ello es necesario la utilización de evidencia experimental.

En el caso de la memoria de trabajo, se han utilizado principalmente dos tipos de tareas experimentales: las tareas auditivo-lingüísticas y las tareas visuales.

Las tareas auditivo-lingüísticas son aquellas en las que la modalidad de la información a la que es expuesta la persona es principalmente fonolingüística. Un ejemplo de éstas es la *tarea de lapso de lectura*, en la que le son presentadas a la persona series de tarjetas con frases, las cuales debe leer en voz alta al mismo tiempo que debe memorizar la última palabra de cada frase. Después de varias frases, la persona debe recordar las palabras memorizadas en orden de aparición. Las series de frases consisten en tres frases, incrementando en cada serie el número de palabras que posee cada frase, hasta que la persona no es capaz de recordar las tres últimas palabras. El indicador de la memoria de trabajo de la persona en esta tarea, es el número de palabras recordadas por frase en las que generalmente se pueden recordar dos de las

tres últimas palabras (Conway et al., 2005).

Las tareas visuales son aquellas en las que la información que debe retener la persona es principalmente visual, un ejemplo es la *Tarea de detección de cambio*; en esta tarea se le presenta a la persona una matriz de estímulos visuales durante un breve periodo de tiempo, posteriormente se retiran de su vista y se reintroducen pasado un lapso en el que la persona debe retener los estímulos, al observar nuevamente la matriz, la persona debe indicar si detectó un cambio en los estímulos. Esta tarea se ha utilizado para investigar el número de objetos que pueden ser recordados, así como la complejidad que tienen sus características (Luck y Vogel, 1997).

2.3. Control inhibitorio

El control inhibitorio puede ser definido como la capacidad que tiene un individuo para detener procesos en curso (Logan, Schachar, y Tannock, 1997). Esta capacidad varía de individuo a individuo, pero también puede presentar variaciones en un mismo individuo dependientes del ritmo circadiano (May, 1999).

Hasher, Lustig, y Zacks (2007) consideran que los procesos inhibitorios cumplen la función de mantener al procesamiento consciente de los sujetos libre de información irrelevante que podría entorpecer el desempeño en ciertas tareas.

De acuerdo con Hasher et al. (2007), los procesos inhibitorios cumplen tres principales funciones:

1. *Acceso*: Esta función delimita el número de estímulos o representaciones mentales a las cuales es dirigida la atención con el fin de evitar que la información irrelevante se convierta en el foco de atención. La utilización adecuada de esta función permite un procesamiento veloz y eficiente de la información, mientras que un déficit en esta función lo entorpece.
2. *Eliminación*: Este mecanismo se encarga de remover información irrelevante del foco de atención, y también lleva a cabo una actualización al remover información

que inicialmente fue relevante pero que debido a cambios en la tarea o el contexto se convirtió en información irrelevante. De acuerdo con Hasher et al. (2007), esta función es crucial en la ejecución de tareas de memoria de trabajo.

3. *Restricción*: La restricción permite el control de respuestas, y es el mecanismo más comúnmente asociado con el término “inhibición”.

Una característica importante de la conceptualización propuesta por Hasher et al. es que enfatizan al control inhibitorio como una fuente de regulación de atención, y consideran que juega un papel central en una gran variedad de procesos cognitivos superiores.

2.3.1. Go/No-go

El “Go/No-go” es un paradigma experimental utilizado con frecuencia para evaluar el control inhibitorio, particularmente en su función de restricción de respuesta (Lustig, Hasher, y Zacks, 2007). El Go/No-go consiste en una tarea en la que el sujeto es expuesto a una serie de estímulos, divididos en dos categorías:

- *Estímulos “Go”*: Son estímulos que requieren de una respuesta conductual, por lo general rápida por parte del sujeto
- *Estímulos “No-go”*: Estímulos respecto a los cuales el sujeto ha recibido la instrucción de no responder

La frecuencia de aparición de estímulos Go es generalmente mayor a la de los estímulos No-go, con el fin de generar una habituación conductual por parte del sujeto (una predisposición a responder), de tal forma que al momento de presentarse un estímulo No-go, el sujeto deba recurrir a procesos inhibitorios con el fin de restringir su respuesta conductual.

Las lesiones en los lóbulos frontales de la corteza cerebral tienen como consecuencia un decremento en el desempeño durante la realización del go/no-go (Drewe, 1975).

2.4. Electroencefalografía

La comunicación entre neuronas tiene lugar por medio de potenciales de acción, los cuales son cambios de voltaje que se originan en una neurona y son propagados a manera de reacción en cadena por los axones, eventualmente llegando a terminales pre-sinápticas y ocasionando la liberación de neurotransmisores, los cuales activan receptores ubicados en una dendrita de otra neurona, lo que produce un cambio de voltaje en la nueva neurona y propaga el potencial de acción a través de ella (Coward, 2013).

El electroencefalograma (EEG) es un método no invasivo de medición de la actividad cerebral, por medio de electrodos colocados sobre el cuero cabelludo (Teplan, 2002).

El EEG registra la actividad eléctrica originada de la suma de muchos potenciales de acción generados de forma sincrónica en el encéfalo, sin embargo, es prácticamente imposible identificar la actividad de neuronas individuales con esta técnica (Blinowska y Durka, 2006, pp. 1-4), debido a esto, el EEG posee una resolución espacial bastante pobre en comparación con otros métodos de imagenología cerebral, sin embargo, posee una resolución temporal excelente, lo que la hace una técnica sumamente útil para evaluar el procesamiento cognitivo (Crosson et al., 2010; Teplan, 2002).

Los orígenes del electroencefalograma se remontan a 1875, con el trabajo de Richard Caton, quien utilizó un galvanómetro modificado para registrar actividad eléctrica de los cerebros expuestos de conejos y monos. Richard Caton es pues, reconocido como el descubridor del electroencefalograma (Collura, 1993).

Casi 50 años después de los experimentos de Richard Caton, en 1924, Hans Berger realizó el primer EEG en humanos, modificando equipamiento de radiotransmisión, con el fin de amplificar la actividad eléctrica del cerebro que podía ser medida sobre el cuero cabelludo, y registrando dicha actividad de forma gráfica sobre papel. Asimismo, fue él quien usó por primera vez el término electroencefalograma (EEG) para describir los potenciales eléctricos cerebrales en el ser humano (Teplan, 2002).

Entre las distintas aplicaciones de la EEG se encuentran la investigación médica

(Kalita y Misra, 1998) , el diagnóstico médico (Wieser, Schindler, y Zumsteg, 2006) y la investigación básica (Vogel y Machizawa, 2004).

La actividad registrada por el EEG ha sido catalogada de acuerdo a su frecuencia en Hz y a la representación gráfica de ésta, en cinco principales tipos de ondas (Figura 2.3): alfa, beta, theta, delta y gamma (Blinowska y Durka, 2006; Teplan, 2002). Las ondas alfa, con un ritmo de 8 a 13 Hz, es el tipo de onda mejor conocido y más estudiado, suele presentarse durante la vigilia, en estados de relajación con ojos cerrados; es interrumpido al abrir los ojos y al realizar esfuerzos cognitivos (Blinowska y Durka, 2006; Teplan, 2002).

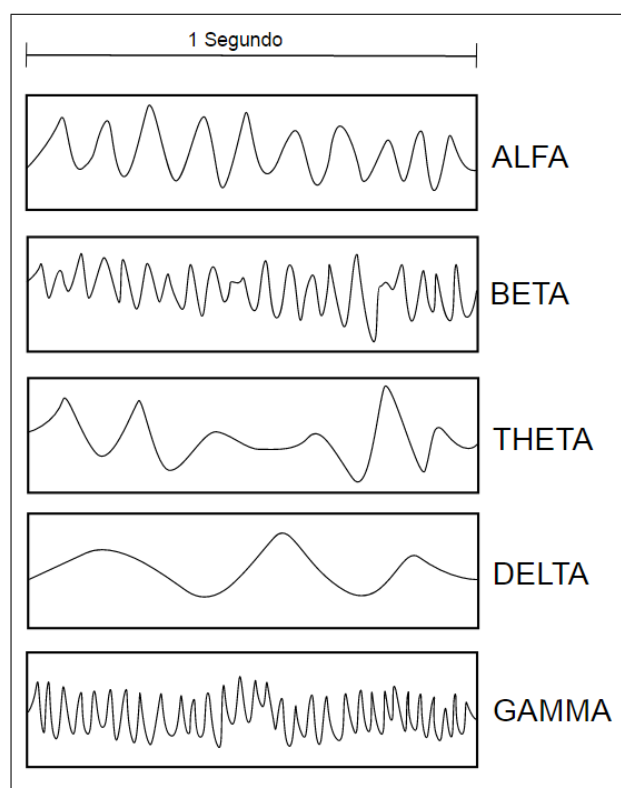


Figura 2.3: Ilustración gráfica de los principales tipos de onda que han sido catalogados en el uso de EEG.

Las ondas beta, con un ritmo de 13 a 30 Hz, son predominantes durante el estado de vigilia, así como en estados de alerta y atención focalizada (Blinowska y Durka, 2006; Teplan, 2002). Algunos experimentos han encontrado que la actividad beta per-

mite velocidades de reacción más rápidas ante un estímulo, en comparación con la actividad alfa (Dustman, Boswell, y Porter, 1962).

Las ondas theta, con un ritmo de 4 a 7 Hz, son observadas comúnmente en niños, sin embargo difícilmente aparecen en adultos y cuando lo hacen suelen ser atribuidas a patologías. Schacter realizó una revisión de diversos estudios de su época, en la que identificó una relación entre la actividad theta durante estados hipnogénicos y de privación de sueño, con un estado de baja alerta pre-estímulo que genera un procesamiento de información poco óptimo; en contraste, sostiene que la actividad theta también puede acompañar al procesamiento eficiente de la información, durante la resolución de problemas. La actividad theta disminuye durante la etapa de sueño con movimiento ocular rápido. Finalmente, asoció las ondas theta con la susceptibilidad hipnótica y estados de meditación.

Las ondas delta, con un ritmo de 0.5 a 4 Hz, son predominantes durante el sueño profundo (Blinowska y Durka, 2006), si llegan a presentarse en estado de vigilia pueden ser un indicador de defectos físicos en el cerebro

Finalmente, las ondas gamma, con ritmos de 30 Hz en adelante, suelen aparecer en actividad neuronal coordinada de distintas regiones cerebrales, tanto corticales como subcorticales. Tienen una correlación con actividad cognitiva sensorial, procesos de atención y de memoria (Jia y Kohn, 2011).

2.5. Potenciales Relacionados con Eventos

Durante el registro de EEG, existe actividad neuronal que aparece de forma sincrónica con determinados eventos, como por ejemplo la presentación de un estímulo o la emisión de una respuesta en una tarea experimental. Esta actividad neuronal puede ser registrada múltiples veces en eventos similares, y al promediar tales registros es posible obtener un patrón de respuesta electrofisiológica ante el respectivo estímulo. A este patrón de respuesta se le conoce como “potencial relacionado con evento” (PRE) (Luck, 2005c). Específicamente, Luck (2005a) define los PRE como:

“Actividad neuronal registrada sobre el cuero cabelludo que es generada en cierto módulo neuroanatómico cuando se lleva a cabo una operación computacional específica” (Luck, 2005a, p. 59).

De tal forma que bajo esta definición los PRE son generados por el procesamiento cerebral de información. Los orígenes neuroanatómicos de los PRE, asociados con los voltajes registrados, son generados por potenciales post-sinápticos en la corteza (Jones, 2015), por lo que la amplitud en un PRE está directamente relacionada con el número de neuronas activadas de forma sincrónica en áreas neuroanatómicamente cercanas (Blinowska y Durka, 2006).

Respecto al tipo de respuestas que puede brindar la técnica, concordamos con Donchin (1981), para quien la finalidad de los PRE no es correlacionar la actividad electrofisiológica con la conducta, sino dilucidar información sobre el procesamiento que es llevado a cabo por el cerebro.

2.5.1. Cómputo de los potenciales relacionados con eventos

Comúnmente los PRE son extraídos de la señal de EEG por medio del uso de épocas, las cuales son periodos de tiempo delimitados dentro de la señal continua. Estas épocas se encuentran acopladas temporalmente a los eventos de interés. Para lograr esto, el diseño experimental, al utilizar la técnica de PRE debe consistir en una serie de pruebas, habitualmente llamadas ensayos, en las que el sujeto realiza una tarea cognitiva. Así pues, cada época extraída de la señal de EEG corresponde a uno de los ensayos.

Una de las principales asunciones al extraer el PRE es que la forma de onda asociada con la tarea es constante, considerando al PRE una respuesta electrofisiológica estereotipada ante el evento de interés. Bajo esta premisa se utiliza la promediación para extraer el patrón estereotipado de respuesta en las épocas (Rugg y Coles, 1995, pp. 5-7). El registro de EEG está compuesto tanto por ruido como por la señal de interés, la promediación genera una onda cuya forma es dada por el PRE estereotípico (Talsma y Woldorff, 2005, p. 155).

2.5.2. Ruido en los potenciales relacionados con eventos

Como se mencionó anteriormente, la señal de interés (el PRE asociado a una tarea cognitiva específica) suele ser distorsionada por dos principales tipos de ruido: actividad cerebral no relacionada con el procesamiento de la tarea, y artefactos.

El ruido generado por actividad cerebral no relacionada con la tarea es considerado aleatorio, y puede ser modelado como un error aleatorio ϵ que sigue una distribución normal $\epsilon \sim N(0, \sigma)$. De tal forma que la señal promediada contendrá un error que se aproxima a cero entre mayor cantidad de ensayos sean promediados.

Respecto a los artefactos, estos son definidos por Talsma y Woldorff (2005) como:

Ocurrencias de cualquier tipo de actividad eléctrica que puede ser registrada por el equipo de EEG, las cuales no se originan en fuentes cerebrales, y son ya sea claramente distinguibles del EEG registrado de fondo, o substancialmente grandes como para modificar la forma de onda observada de PRE en comparación con su forma verdadera (Talsma y Woldorff, 2005, p. 155).

A diferencia del error aleatorio generado por la actividad cerebral, los artefactos no pueden eliminarse por medio de promediación, y pueden afectar drásticamente la forma de onda del PRE. Para controlar el efecto de los artefactos durante la extracción de PRE existen tres principales métodos:

- **Rechazo de épocas con artefactos.** Está técnica consiste en delimitar un criterio bajo el cual una forma de onda es considerada un artefacto. Generalmente este criterio consta de cambios abruptos en el voltaje (Talsma y Woldorff, 2005).
- **Filtraje.** Cuando los artefactos se deben a una interferencia constante y predecible, la cual es fácilmente identificable por su frecuencia, como en el caso del ruido de línea (señal eléctrica generalmente entre 50 y 60 hz generada por actividad de la fuente de alimentación eléctrica del equipo de EEG), es posible eliminarlos filtrando la señal registrada de tal forma que se excluya el rango de frecuencias que contienen la señal artefacto (Luck, 2005b).

- **Análisis de Componentes Independientes (ACI).** Una técnica relativamente nueva, que separa componentes independientes de la señal por medio de algoritmos matemáticos. Es posible utilizar esta técnica para remover los componentes correspondientes a artefactos, sin embargo el ICA aún requiere de mayor análisis y validación en comparación con otros métodos de eliminación de artefactos (Talsma y Woldorff, 2005).

2.5.3. Componentes de los potenciales relacionados con eventos

Los componentes son quizás uno de los términos más prominentes en la investigación de PRE. Un componente es básicamente un segmento de la forma de onda, generalmente un pico de amplitud, que es atribuible a fenómenos cerebrales específicos, manifestados en el PRE como fluctuaciones positivas o negativas en el voltaje (Donchin, Ritter, y McCallum, 1978).

De manera más técnica, existen dos posibles formas de definir los componentes en los PRE (Rugg y Coles, 1995, p. 8): fisiológicamente, un componente es una característica de la forma de onda generada por una fuente neuroanatómica específica; funcionalmente, un componente es una característica de la forma de onda generada por un proceso cognitivo específico.

En ambas concepciones del término, aislar e identificar un componente no es tarea sencilla, debido a la naturaleza de la señal eléctrica y a que el cerebro es un buen conductor existe la posibilidad de que una forma de onda en el PRE sea conformada por varios componentes traslapados, y es casi imposible determinar con certeza la contribución de componentes individuales y simultáneos a la forma de onda final (Donchin et al., 1978; Luck, 2005a; Rugg y Coles, 1995). Debido a esto, se ha propuesto el uso del término "deflexión" como alternativa al de componente, para referirse a características de la forma de onda cuando sin necesidad de insinuar que corresponden a componentes específicos (Rugg y Coles, 1995, p. 8). Sin embargo el término "componente" sigue siendo ampliamente preferido por investigadores en el área de la psicología; concretamente, desde el punto de vista de Donchin et al. (1978) es posible considerar que

una forma de onda corresponde a un componente cuando esta cambia en función de la manipulación de variables experimentales.

Los componentes pueden considerarse exógenos cuando son generados por estimulación sensorial, o endógenos cuando son provocados por procesamiento cognitivo (Donchin et al., 1978).

2.5.4. Componentes de los potenciales relacionados con eventos comúnmente estudiados

Distintos componentes han sido identificados a través de los años, los cuales han sido nombrados por común acuerdo en función de su polaridad y latencia; en algunos casos la latencia es reemplazada por el orden de aparición (Luck, 2005c). Así pues, la nomenclatura de un componente está conformada por dos partes, una letra indicando su polaridad y un número indicando ya sea su latencia o su orden de aparición. Como ejemplo, el componente P300 es un pico de amplitud positiva, que aparece alrededor de los 300 milisegundos posteriores a un evento; este componente puede ser también llamado P3, indicando que es el tercer pico de amplitud positiva presente en un PRE. En el caso de aquellos componentes que se manifiestan con una deflexión negativa, la letra “P” es sustituida por la letra “N”, de tal forma que una deflexión negativa a los 100 milisegundos es denotada N100 (o N1).

A continuación se describen brevemente algunos componentes que en la literatura científica de los potenciales relacionados con eventos son descritos repetidas veces por investigadores, e investigados en diversas condiciones experimentales:

P100

El P100 (o P1) comienza entre los 60 y 90 milisegundos, presentando un pico positivo de voltaje entre los 100 y los 130 milisegundos (Luck, 2005c, p. 36), principalmente observable en regiones occipitales. Este componente es en parte exógeno, debido a que es sensible a cambios en el estímulo (Herrmann y Knight, 2001) , y en parte

endógeno, atribuido comúnmente a procesos relacionados con la atención, los cuales incrementan su amplitud (Hillyard, Vogel, y Luck, 1998).

Existe evidencia sólida de que el P100 tiene sus fuentes cerebrales en el giro fusiforme y el giro occipital medio, pero no en la corteza visual primaria (Heinze et al., 1994; Hillyard et al., 1998).

N100

También denotado como N1, este componente es comúnmente asociado con procesos de atención (Luck, 2005c, p. 37) cuando se asocia con procesamiento visual, asimismo se le ha atribuido un papel en el reconocimiento de objetos, reflejando un procesamiento necesario para diferenciar objetos que tienen alta similaridad (Tokudome y Wang, 2012). Siguiendo esta misma línea de pensamiento, se ha planteado que el N1 refleja un procesamiento de “ganancia sensorial”, en el que la señal producida por cierta estimulación sensorial es amplificada neuronalmente con el fin de incrementar la razón señal/ruido (Hillyard et al., 1998).

P200

Algunos estudios (Freunberger, Klimesch, Doppelmayr, y Höller, 2007; Luck y Hillyard, 1994) han propuesto que la amplitud del P2 refleja la activación de un procesamiento “top-down”, que refleja un procesamiento mediado por procesos cognitivos superiores, los que a su vez regulan la atención sensorial; este tipo de procesamiento contrasta con el denominado “bottom-up”, en el cual la estimulación sensorial dirige el foco de atención, y hay poca intervención de procesos cognitivos superiores (Sarter, Givens, y Bruno, 2001).

En un estudio que comparaba los PRE registrados durante la exposición a caracteres chinos (hanzi), se identificó una mayor amplitud del P2 (150-250 ms post-estímulo) entre mayor cantidad de trazos tenía el hanzi (Yang, Zhang, y Wang, 2016), por lo que los autores proponer que el P2 refleja mayor carga en procesos de atención. En un estudio (Freunberger et al., 2007) en el que a las personas se les mostraba un obje-

to perteneciente a una de dos categorías: vivo o inanimado, el cual era reemplazado por una imagen pixeleada de un objeto diferente; tras un breve periodo de tiempo la imagen pixeleada se retiraba para dar lugar a la imagen clara del nuevo objeto, ante el cual las personas debían indicar si pertenecía a la categoría “vivo” o “inanimado”. Se encontró que el P2 mostraba un voltaje mayor cuando las categorías del primer y segundo objeto eran incongruentes; los autores argumentan que esta diferencia concuerda con resultados anteriores (Luck y Hillyard, 1994) que indican un papel de los procesos “top-down” en el voltaje del P2, asimismo plantean la posibilidad de que el voltaje del P2 incremente al aumentar las demandas de procesamiento cognitivo.

P300

El potencial P300 (o P3) es quizás el que más ha sido estudiado con la técnica de PRE. El P300 ha sido tradicionalmente relacionado con paradigmas de estímulo inusual, en los que el sujeto debe responder a un estímulo objetivo mientras observa una secuencia de estímulos no-objetivo. El P300 suele presentarse cuando el sujeto responde al estímulo objetivo, y la amplitud del potencial se encuentra directamente relacionada con la rareza del estímulo; entre menor sea la probabilidad de aparición de éste, mayor será la amplitud del potencial (Picton, 1992).

2.6. Potenciales Relacionados con Eventos y Memoria de Trabajo

Existe evidencia de que el P300 se presenta de forma simultánea a la actividad contralateral suscitada por la evaluación de un estímulo en una tarea de memoria de trabajo (Carlisle, Arita, Pardo, y Woodman, 2011).

Se ha observado que esta actividad contralateral, presenta una negatividad más pronunciada en los electrodos P7 y P8 durante la realización de tareas relacionadas con la memoria de trabajo visual (Luria, Sessa, Gotler, Jolicoeur, y Dell’Acqua, 2010).

Asimismo, se ha argumentado que la actividad contralateral es útil como medida neural de la memoria de trabajo (Lubin et al., 2016).

Se ha encontrado evidencia de que el desempeño en tareas de memoria de trabajo está relacionado con la amplitud observada en el componente P300 (Dong, Reder, Yao, Liu, y Chen, 2015). Este fenómeno también ha sido observado en análisis de potenciales relacionados con eventos que no utilizan la nomenclatura de componentes mencionada en el apartado 2.5.4, encontrando una relación entre el promedio de voltaje en todos los electrodos y el desempeño en una tarea de memoria de trabajo (Agam y Sekuler, 2007) . De igual manera, se ha identificado que la amplitud del componente P300 tiene una relación inversa con el nivel de carga al que se somete la memoria de trabajo. Algunos niños que realizaron una tarea de retención de letras, presentaron menor amplitud en dicho componente cuando la cantidad de letras que debían retener era mayor (Gomarus, Althaus, Wijers, y Minderaa, 2006). Sin embargo, también existe la posibilidad de que dicha relación sea circunstancial, como es sugerido por Klados, Simos, Micheloyannis, Margulies, y Bamidis (2015)., en cuyo estudio no fue encontrada esta relación; siendo en lugar del desempeño en la memoria de trabajo la ansiedad el factor para el cual se encontró una relación con la amplitud de los Potenciales Relacionados con Eventos. Otro componente, el P1, ha sido correlacionado de forma inversa con la precisión en tareas de memoria visual, de tal forma que sujetos con mayor precisión en sus respuestas muestran una latencia de aparición menor en el P1 (Finnigan, O'Connell, Cummins, Broughton, y Robertson, 2011).

Capítulo 3

Antecedentes

3.1. Relación entre la memoria de trabajo y el control inhibitorio

La idea de que la memoria de trabajo se encuentra relacionada con funciones ejecutivas de control inhibitorio no es una idea nueva, Hasher et al. (2007) postularon un planteamiento teórico que coloca a los procesos inhibitorios como un elemento crucial para la memoria de trabajo, argumentando que una memoria de trabajo eficiente no es aquella que posee un mayor “espacio de almacenamiento”, sino aquella que procesa de forma óptima la información discriminando la relevante de la irrelevante.

Incluso afirman ellos, que buena parte de los fenómenos atribuidos a la memoria de trabajo son en realidad atribuibles al control inhibitorio (Hasher et al., 2007, p. 229), y consideran que el control inhibitorio forma parte de lo que Baddeley llamó “Ejecutivo central” (Hasher et al., 2007, p. 237).

Varias investigaciones se han llevado a cabo explorando la implicación del control inhibitorio en la memoria de trabajo, y viceversa.

Redick et al. (2011) realizaron dos experimentos con el fin de obtener información experimental pertinente a tres principales hipótesis sobre el funcionamiento de la memoria de trabajo:

1. La hipótesis de la atención ejecutiva, planteada por Engle y Kane (2004), y que supone una interacción entre procesos de atención y memoria de trabajo, considerando a las diferencias observadas en el desempeño sobre tareas de memoria de trabajo como resultado de ambos factores.
2. La hipótesis de mantenimiento/recuperación, denominada así por Redick et al. (2011) y originalmente planteada por Unsworth y Engle (2007) como una división de la memoria de trabajo en memoria primaria (un sistema dinámico altamente relacionado con procesos de atención, encargado del mantenimiento temporal y activo de información), y memoria secundaria (un sistema encargado de la recuperación selectiva de información en función del contexto).
3. La hipótesis del control inhibitorio, planteada por Hasher et al. (2007), que considera al control inhibitorio como un elemento fundamental de la memoria de trabajo, y el cuál explica las variaciones individuales en tareas tradicionalmente usadas para evaluar esta capacidad.

En el primer experimento, utilizaron una técnica conocida como aproximación de grupos extremos (Preacher, Rucker, MacCallum, y Nicewander, 2005) en la cual se seleccionan el primer y cuarto cuartil respecto a una variable de interés, y los individuos pertenecientes a estos cuartiles son catalogados como pertenecientes al grupo bajo o alto de esta variable, respectivamente. Redick et al. (2011) evaluaron la memoria de trabajo mediante una serie de tareas, y utilizaron los puntajes obtenidos como índice de la capacidad de memoria de trabajo (CMT), en función de la cual definieron un grupo de “Alta CMT” y otro de “Baja CMT”. Ambos grupos participaron en una tarea go/no-go, y la cantidad de errores cometidos en los estímulos no-go fue evaluada como función del grupo de memoria de trabajo. Contrario a las predicciones de los autores, no fueron encontradas diferencias significativas entre ambos grupos; argumentaron que esto se debe a que la realización de una prueba go/no-go no requiere de procesos memorísticos. Nosotros estamos de acuerdo con esta afirmación, sin embargo no nos proporciona información respecto a una direccionalidad inversa, esto es, la implicación

de procesos inhibitorios durante la utilización de la memoria de trabajo.

En su segundo experimento, utilizando el mismo método para delimitar grupos que en el primer experimento, pero utilizando una versión diferente del go/no-go a la que denominaron “go/no-go condicional”, en esta versión modificada, ningún estímulo es “go” o “no-go” de forma independiente, sino que depende de un estímulo previo, con base en cual el estímulo objetivo era definido como go o no-go, los sujetos debían pues retener el estímulo previo para poder responder al estímulo objetivo, por lo que esta versión requiere una mayor implicación de la memoria para su realización. En este experimento Redick et al. (2011) encontraron diferencias significativas entre el grupo de Alta CMT y Baja CMT, sin embargo estas diferencias aumentaron en función del tiempo transcurrido entre el estímulo previo y el estímulo objetivo, por lo que no se podrían atribuir estos resultados a diferencias entre la capacidad de control inhibitorio. Es probable que los resultados reflejen diferencias en la CMT, lo cual se asocia a la forma en que se definieron los grupos.

En un tercer experimento, los autores intentaron corregir errores metodológicos usados en los experimentos anteriores, por lo que utilizaron una muestra de 171 sujetos sin la aproximación de grupos extremos, lo cual les permitió evaluar la CMT y el desempeño en el go/no-go condicional por medio de regresión lineal. En los resultados de este experimento los autores encontraron una relación entre el desempeño en el go/no-go condicional, sin embargo, como fue mencionado anteriormente esto podría ser explicado debido a la mayor carga de la memoria de trabajo en esta versión del go/no-go.

Finalmente, los autores realizaron un cuarto experimento para tomar en cuenta consideraciones metodológicas señaladas por un revisor de sus trabajos previos, específicamente, el hecho de que en los experimentos 2 y 3 la proporción de $\frac{\text{tipo de estímulo}}{\text{número total de estímulos}}$ estímulos go y no-go era .4 y .6 respectivamente, mientras que en los diseños go/no-go tradicionales la proporción es .8 y .2, por lo que el go/no-go utilizado en los experimentos 2 y 3 podría no ser un buen indicador del control inhibitorio. De esta forma, el experimento 4 fue muy similar al 2, nuevamente se utilizó la aproximación de grupos extremos para

dividir a los participantes en grupos de Alta CMT y Baja CMT, y se utilizó el go/no-go condicional ajustado de tal forma que en esta ocasión el 80 % de los estímulos requerían respuesta (go), mientras que para el 20 % restante los sujetos debían abstenerse de responder (no-go). En los resultados de este cuarto experimento, el grupo de Baja CMT tuvo menor precisión en los estímulos no-go. Los autores argumentan que este patrón es debido a diferencias en la capacidad de mantener, actualizar, y recuperar información, mas no a la capacidad de control inhibitorio.

De forma general, los autores argumentan los resultados de todos los experimentos como evidencia a favor de la hipótesis de mantenimiento/recuperación como principal factor determinante de las diferencias en la CMT, y como evidencia en contra de una relación entre el control inhibitorio y la memoria de trabajo. Señalan también la posibilidad de que la tarea go/no-go refleje procesos de inhibición conductual, pero no de inhibición cognitiva, lo cual explicaría los resultados de que exista una relación entre el control inhibitorio cognitivo y la memoria de trabajo.

3.2. Ruido sensorial y memoria de trabajo

Hillyard et al. (1998) realizan una revisión sobre este fenómeno, en la cual utilizan los términos “Ganancia sensorial” y “Amplificación” de forma intercambiable para referirse al proceso mediante el cual el cerebro “filtra” los estímulos sensoriales que recibe, con el fin de incrementar la razón señal/ruido, incrementando la percepción sensorial de la estimulación relevante para el sujeto (señal) e ignorando la irrelevante (ruido). Hillyard et al. proponen que el proceso de filtrado sensorial se ve reflejado en los componentes P1 y N1, relegando ambos procesos diferentes; de tal modo que los autores asocian el P1 con la supresión de estimulación irrelevante (ruido) y al N1 con la ganancia sensorial de estímulos atendidos (señal) (pp. 1265-67).

3.2.1. Ruido visual

En este trabajo se retoma el concepto de ruido sensorial mencionado, sin embargo al delimitarse únicamente a información visual, es llamado “ruido visual” a lo largo del texto.

Existe evidencia de que las distintas características de los objetos percibidos visualmente son procesadas de forma separada (Luck y Vogel, 1997), por lo que el ruido visual incorporado en las condiciones experimentales del presente trabajo proporciona información del mismo tipo que la información relevante para la tarea, como se detalla en el capítulo de metodología, esta información relevante es la forma geométrica de los estímulos visuales.

Capítulo 4

Planteamiento del problema

La memoria de trabajo es una capacidad cognitiva de gran importancia, se ha planteado que es utilizada en gran cantidad de actividades en la vida cotidiana, y que se encuentra relacionada con otras capacidades cognitivas como la inteligencia y la comprensión lectora. A pesar de ser considerada una capacidad cognitiva importante, aún queda mucho por explorar para entender sus características, límites e interacción con otras capacidades cognitivas.

Un elemento de suma importancia para la memoria de trabajo, el “Ejecutivo central”, es el encargado de coordinar el almacenamiento y procesamiento de información. Se ha planteado que otra capacidad cognitiva superior, el control inhibitorio, es un elemento crucial del Ejecutivo central, y que variaciones en la capacidad de control inhibitorio tienen como consecuencia variaciones en el desempeño de tareas de memoria de trabajo. Sin embargo la evidencia respecto a la relación entre el control inhibitorio y la memoria de trabajo aún es insuficiente y en algunos casos contradictoria, por lo que es necesaria la obtención de más evidencia experimental con el fin de confirmar o refutar esta postura.

4.1. Preguntas de investigación

¿El ruido visual tiene un efecto sobre el desempeño en tareas de memoria de trabajo visual?

¿Existe una relación entre el control inhibitorio y la memoria de trabajo?

¿El ruido visual genera cambios en la respuesta electrofisiológica durante tareas de memoria de trabajo?

Capítulo 5

Hipótesis

1. Existe un efecto del ruido visual sobre el desempeño en la tarea de memoria de trabajo. Se espera que el porcentaje de respuestas correctas en una tarea de memoria visual de trabajo disminuya en presencia de ruido visual.
2. De no existir un efecto del ruido visual, es posible la existencia de un mecanismo cognitivo que permita mantener un desempeño consistente en presencia de éste. Dicho mecanismo puede ser el control inhibitorio. Se espera la existencia de una correlación positiva entre el porcentaje de respuestas correctas obtenidas en una tarea de memoria visual y una tarea de control inhibitorio.
3. La presencia de ruido visual provocará cambios en la respuesta electrofisiológica durante las tareas de memoria de trabajo. Este cambio se verá reflejado como un aumento en la amplitud de los componentes P1, N1, P2, o P3.

Capítulo 6

Objetivos

1. Comparar el desempeño obtenido en tareas de memoria de trabajo, en función de la versión experimental a la que pertenecen (control, cuadrado, irregular).
2. Comparar el desempeño obtenido en las tareas de memoria de trabajo con el desempeño obtenido en la tarea de control inhibitorio.
3. Evaluar el voltaje registrado durante la realización de la tarea experimental, por medio de análisis de potenciales relacionados con eventos, y comparar dicho voltaje entre las distintas condiciones experimentales.

Capítulo 7

Justificación

Los fenómenos cognitivos presentan diversos desafíos para su estudio, particularmente la incapacidad de los observadores de observar dichos fenómenos de forma directa.

Tradicionalmente, la conducta de las personas y los reportes verbales que éstas dan sobre su propia experiencia psicológica han sido los dos referentes más utilizados para la exploración de fenómenos cognitivos. Sin embargo este abordaje indirecto tiene severas limitaciones, las cuales han sido superadas poco a poco con el avance de la tecnología. Uno de los avances tecnológicos que resulta especialmente útil en el estudio de los fenómenos cognitivos es la electroencefalografía, debido a que esta nos permite observar cambios en la electrofisiología craneoencefálica en tiempo real.

Dado que el cerebro produce pequeños campos electromagnéticos como subproducto de la activación neuronal, los cuales pueden ser detectados sobre el cuero cabelludo, la actividad electrofisiológica registrada sobre el cuero cabelludo permite obtener información sobre los patrones de activación neuronal subyacentes.

Estudios como el presente contribuyen a expandir la evidencia de la que se dispone respecto a fenómenos cognitivos, para cimentar sus bases en evidencia que va más allá de la observación conductual, y ampliar nuestro conocimiento respecto a cómo ciertos procesos cognitivos se manifiestan de forma electrofisiológica.

Aún existe discusión respecto a los límites que diferencian a la memoria de trabajo

y el control inhibitorio. Si bien ambos constructos representan procesos esencialmente diferentes, tienen una intersección funcional que ha impedido trazar límites concretos entre ellos. Con ayuda de la electroencefalografía es posible aportar mayor información que contribuya a un desarrollo teórico más claro respecto a ambos.

La evidencia experimental obtenida de ciencia básica nos permite conocer mejor un fenómeno en condiciones controladas, la realización de investigaciones para obtener esta evidencia es de suma importancia, puesto que entre mejor es conocido un fenómeno más fácilmente pueden detectarse las áreas de oportunidad que tiene la ciencia aplicada para abordar este fenómeno en beneficio de la sociedad.

Capítulo 8

Metodología

8.1. Muestra

Se realizó un muestreo por conveniencia por medio de convocatoria.

Participaron 36 estudiantes universitarios (18 hombres y 18 mujeres), los cuales fueron voluntarios que respondieron a la convocatoria abierta. Todos los voluntarios firmaron un consentimiento informado de su participación autorizando la utilización de los datos generados a partir de ella. La identidad de los participantes es mantenida de forma anónima.

Tabla 8.1: Criterios de inclusión y exclusión para la muestra

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Estudiante universitario	No ha recibido educación formal en los últimos 6 meses
Mayor de 18 años	Reporta historial de trastornos neuropsicológicos
Menor de 28 años	Estudiantes de ciencias exactas
	Padece daltonismo

8.2. Materiales

Las tareas usadas en el experimento fueron programadas y ejecutadas por medio del software e-Prime (Schneider, Eschman, y Zuccolotto, 2002).

El registro electroencefalográfico se llevó a cabo utilizando un amplificador acti-CHamp (Brainvision), con un montaje de 32 electrodos siguiendo el sistema internacional 10-20 (Jasper, 1958) sobre un gorro para montaje de electrodos (EasyCap). Antes de comenzar los registros se verificó que la impedancia de los electrodos no sobrepasara los 15 k Ω . En promedio la impedancia de los electrodos se mantuvo igual o menor a 5k Ω .

El registro digital de los datos electrofisiológicos se realizó por medio del software de código abierto PyCorder (Brainvision).

El análisis de datos conductuales fue llevado a cabo utilizando el entorno estadístico R (R Core Team, 2016).

El análisis de datos electrofisiológicos fue llevado a cabo usando Matlab 2016, el paquete especializado “EEGLAB” (Delorme y Makeig, 2004) y el plugin “ERPLab” (Lopez-Calderon y Luck, 2014) junto con el entorno estadístico R.

8.3. Paradigmas experimentales

8.3.1. Memoria Visual de Trabajo

Tarea de memoria visual

Para medir la memoria de trabajo de los sujetos, se diseñó una tarea de memoria visual (TMV), basada en la tarea de detección de cambio utilizada en investigaciones similares (Luck y Vogel, 1997; Vogel y Machizawa, 2004). Dicha tarea fue modificada tomando en cuenta investigaciones referentes al número de objetos en el estímulo (Cowan, 2001; Kursawe y Zimmer, 2015) y la complejidad de los mismos (Kursawe y Zimmer, 2015; Oberauer y Eichenberger, 2013).

La realización de la TMV por parte de un sujeto, consiste en la realización de 150 ensayos, cada uno de los cuales puede tener como resultado una respuesta correcta o incorrecta del sujeto. Cada ensayo tiene una duración máxima de 4.5 segundos, y consiste en cuatro periodos de tiempo:

1. *Periodo de fijación*: Este periodo da inicio al ensayo, y tiene una duración de 300 milisegundos, durante la cual aparece en la pantalla una cruz, que cumple la función de indicar a la persona el inicio del ensayo y centrar su atención en el centro de la pantalla.
2. *Periodo de memorización*: Consiste en la presentación de un estímulo inicial, el cual debe ser memorizado por la persona, la persona cuenta con 1500 milisegundos para observar el estímulo antes de dar paso al siguiente periodo.
3. *Periodo de retención*: El estímulo es retirado de la vista de la persona y la pantalla permanece en blanco durante un 1500 milisegundos.
4. *Periodo de prueba*: Se le presenta a la persona un nuevo estímulo, el cual tiene una probabilidad de .5 de ser el mismo que fue presentado durante el periodo de memorización, y una probabilidad de .5 de ser diferente. A partir de la presentación del estímulo, la persona dispone de 1200 milisegundos para indicar si detectó un cambio entre el estímulo presentado en el periodo de memorización y el periodo de prueba. La emisión de una respuesta por parte del sujeto finaliza el ensayo.

En la figura 8.1 se muestra el desarrollo general de un ensayo de forma esquemática, mientras que en la figura 8.2 se ejemplifica sustituyendo los periodos del ensayo por los respectivos estímulos presentados en ellos.

Estímulos visuales

Se elaboraron 18 polígonos irregulares color negro, los cuales se utilizaron para la elaboración de los estímulos visuales, estos polígonos son mostrados en la Figura 8.3.

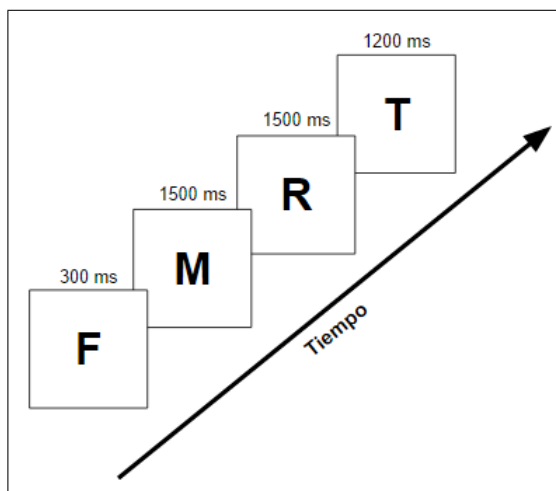


Figura 8.1: Esquema de la configuración del paradigma experimental utilizado para evaluar la memoria de trabajo. **F** = Periodo de fijación, **M** = Periodo de memorización, **R** = Periodo de retención, **T** = Periodo de prueba. Se muestran los tiempos de duración de cada periodo en milisegundos.

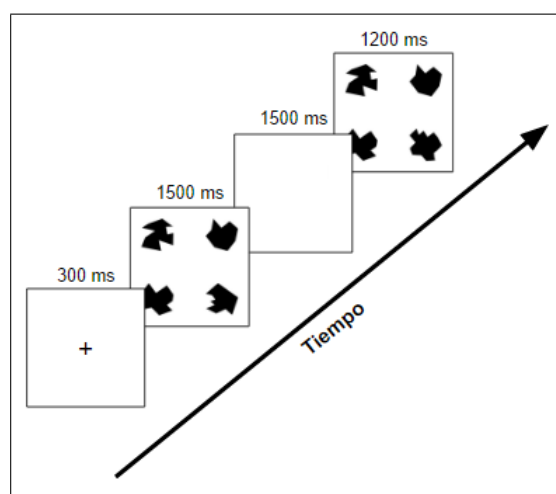


Figura 8.2: Ejemplo de los estímulos observados por los sujetos durante la realización de la tarea.

El nivel de complejidad de los polígonos es relativamente alto con el fin de que la tarea tenga una dificultad elevada, para evitar un efecto de techo en las respuestas.

Los estímulos utilizados durante los periodos de memorización y prueba son mos-

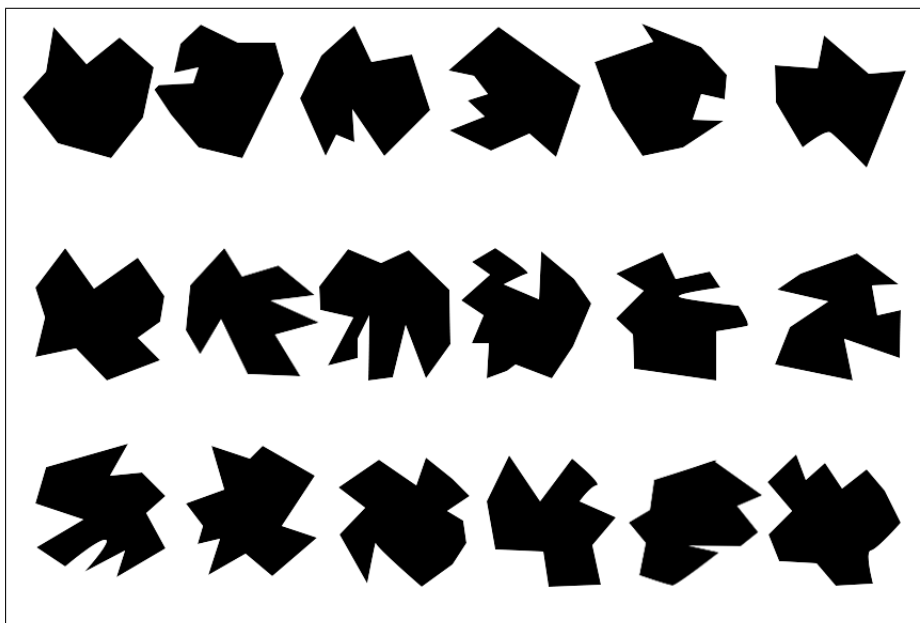


Figura 8.3: Los 18 polígonos individuales utilizados para la generación de los estímulos visuales.

trados en la pantalla de un computador, y consisten en un grupo de 4 polígonos, tomados aleatoriamente sin reemplazo de los 18 polígonos mencionados anteriormente, y alineados a manera de cuadrícula con un polígono en cada esquina de la pantalla, todos los estímulos poseen exactamente la misma alineación de polígonos. En la figura 8.4 se muestra un ejemplo de los estímulos generados mediante este proceso.

Por cada condición experimental, se elaboraron 150 estímulos para el periodo de memorización. Debido a que el 50% de los ensayos correspondían a un cambio de estímulo, se elaboraron 75 estímulos adicionales para el periodo de ensayo. Cuando el ensayo correspondía a un no-cambio, el estímulo de su correspondiente periodo de memorización se reutilizó en el periodo de prueba.

8.3.2. Ruido visual

Para manipular la variable independiente “ruido visual”, se diseñaron 3 diferentes versiones (Fig. 8.5) de la TMV:

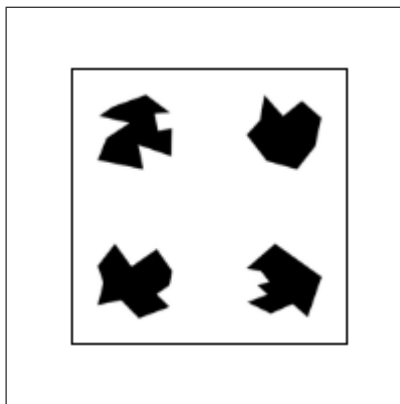


Figura 8.4: Ejemplo de los estímulos utilizados generados para la TMV. Las líneas externas son sólo ilustrativas y no son mostradas a la persona que realiza la actividad.

1. *Versión Control*: Esta es la versión utilizada como control, en esta versión son presentados únicamente los estímulos relevantes para la realización de la TMV
2. *Versión Cuadrado*: En esta versión, los ensayos contienen un cuadrado detrás de los polígonos, este cuadrado cumple la función de presentar información visual adicional que es irrelevante para la realización de la tarea, debido a que el nivel de complejidad de un cuadrado es bajo, esta condición contiene ruido visual leve.
3. *Versión Irregular*: En esta versión, los ensayos contienen un polígono irregular detrás de los polígonos relevantes, este polígono cumple la función de presentar información visual adicional al sujeto, la cual es irrelevante para la realización de la tarea. Debido a que la complejidad del polígono irregular es alta, esta condición contiene ruido visual elevado.

8.3.3. Control Inhibitorio

Tarea Go/No-go

Para evaluar el control inhibitorio fue utilizado un paradigma Go/No-go de la siguiente manera:

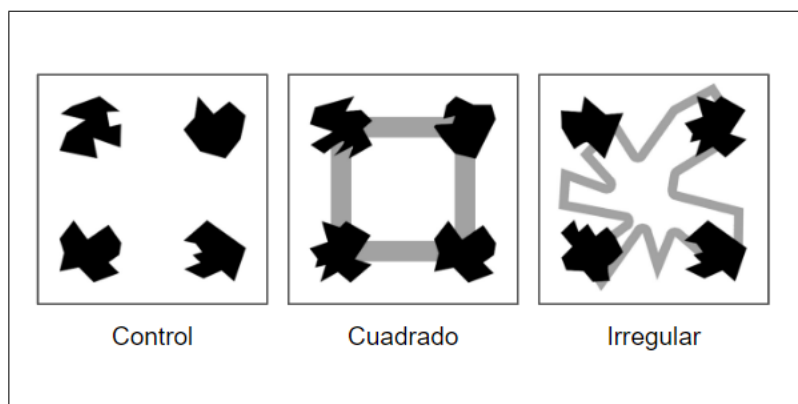


Figura 8.5: Las tres versiones de la TMV utilizadas para manipular el nivel de ruido visual.

La persona observa una serie de estímulos en la pantalla de un ordenador, con la instrucción de presionar un botón cada vez que se presente un estímulo con características específicas. Este estímulo, al que la persona debe responder, es denominado estímulo “Go”. Adicionalmente, la persona recibe la instrucción de no presionar ningún botón si se presenta un estímulo con características diferentes al estímulo Go. Este estímulo, al que la persona no debe responder, es denominado estímulo “No-go”. La razón de estímulos Go:No-go utilizada fue 4:1, una proporción comúnmente usada al implementar este paradigma (Ames et al., 2014; Redick et al., 2011), de tal forma que el paradigma contuvo 300 estímulos Go y 75 estímulos No-go, cuyo orden de presentación fue aleatorizado.

Estímulos

Todos los estímulos utilizados eran polígonos irregulares, y la característica principal para la discriminación entre estímulos Go y No-go fue el color. Los estímulos Go eran polígonos de color azul o verde, mientras que los estímulos No-go eran estímulos rojos. En la Figura 8.6 se muestra un ejemplo de los estímulos utilizados.

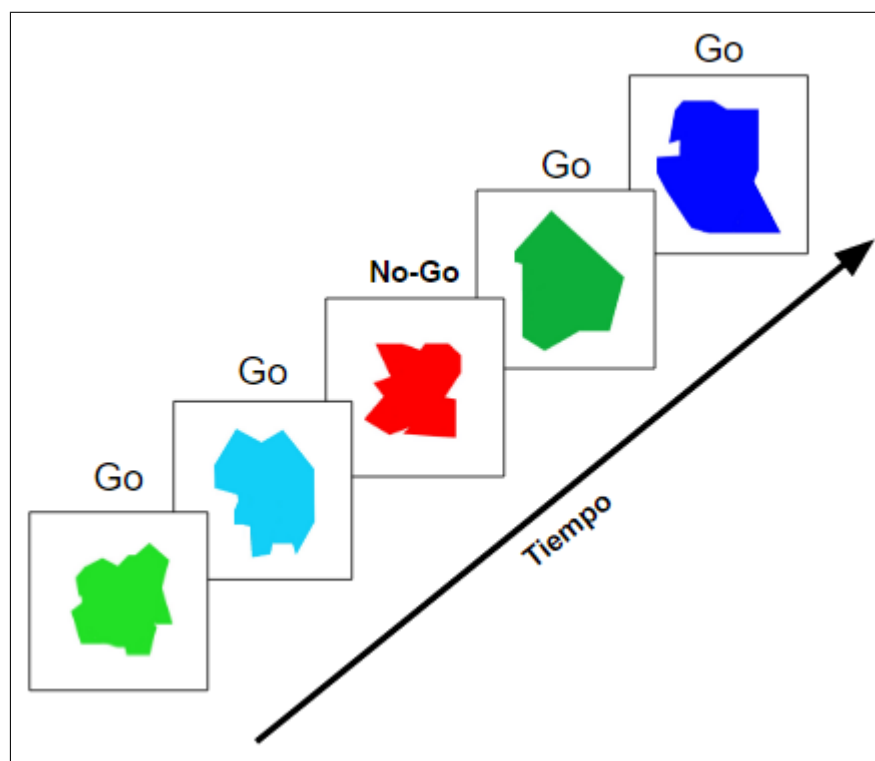


Figura 8.6: Esquema del desarrollo de la tarea Go/No-go utilizada. Sobre cada imagen se indica la categoría a la cual pertenece.

8.4. Diseño estadístico

Cada voluntario realizó las 4 tareas experimentales (3 versiones del TMV y la tarea Go/No-go), cada una de las cuales es considerada un bloque experimental, de tal forma que el diseño experimental fue un diseño de medidas repetidas por bloques. Los bloques fueron presentados de manera contrabalanceada, de acuerdo a un diseño de cuadrado latino.

La TMV control es designada como el bloque 1, la TMV cuadrado se designó como el bloque 2, la TMV irregular corresponde al bloque 3, y el bloque 4 es la tarea Go/No-go. Los bloques 1, 2, y 3 fueron presentados en 6 posibles configuraciones creando un cuadrado latino balanceado (Fig. 8.7, Izquierda), y respecto al bloque 4, 50 % de los voluntarios realizaron este bloque antes de los bloques correspondientes a la memoria de trabajo, mientras que el otro 50 % lo realizó después de haber concluido todos los

bloques de memoria de trabajo, en la Figura 8.7 puede observarse la distribución de los bloques experimentales.

Configuración 1	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Configuración 1	Bloque 4	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3
Configuración 2	Bloque 3	Bloque 1	Bloque 2	Configuración 2	Bloque 4	Bloque 3	Bloque 1	Bloque 2
Configuración 3	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 1	Configuración 3	Bloque 4	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 1
Configuración 4	Bloque 1	Bloque 3	Bloque 2	Configuración 4	Bloque 1	Bloque 3	Bloque 2	Bloque 4
Configuración 5	Bloque 2	Bloque 1	Bloque 3	Configuración 5	Bloque 2	Bloque 1	Bloque 3	Bloque 4
Configuración 6	Bloque 3	Bloque 2	Bloque 1	Configuración 6	Bloque 3	Bloque 2	Bloque 1	Bloque 4

Figura 8.7: Distribución de los bloques experimentales. *Izquierda*: Cuadrado latino balanceado con los tres tipos de tarea de memoria de trabajo. *Derecha*: Incorporación del bloque 4 (tarea de control inhibitorio) al diseño experimental. La columna sombreada indica el número de configuración al que corresponde la hilera de bloques, los participantes realizan los bloques en orden de izquierda a derecha.

La configuración según la cual los voluntarios llevaron a cabo el experimento fue decidida por medio de un sorteo aleatorio sin reemplazo, de tal forma que 3 hombres y 3 mujeres fueron asignados a cada una de las 6 configuraciones.

8.4.1. Análisis estadístico

El efecto de la manipulación experimental fue evaluado por medio de pruebas estadísticas de medidas repetidas. En los casos en los que las variables pasaron las pruebas de normalidad fue utilizado un ANOVA de medidas repetidas, mientras que en los casos que esta prueba se falló, se utilizó el test de Friedman.

Para aquellos ANOVA en los que se encontró un efecto significativo de alguna variable, se procedió utilizando pruebas *t post-hoc* con corrección de Bonferroni.

La relación entre la proporción de respuestas correctas en la TMV y la tarea Go/No-Go se evaluaron con pruebas de correlación no paramétricas de Spearman.

La interacción entre las variables electroencefalográficas, experimentales y conductuales se evaluó por medio de un modelo linear mixto, verificando la normalidad y

homocedasticidad de los residuales.

8.5. Procedimiento

Cada experimento tuvo una duración aproximada de 2:00 horas. Antes de comenzar, cada voluntario recibió una hoja de consentimiento informado mencionada con anterioridad, el cual fue firmado por ellos antes de proceder. Le fueron colocados 33 electrodos al voluntario, de acuerdo con el sistema 10-10 y utilizando el gorro Easycap (Branvision).

El voluntario realizó una tarea de práctica, en la cual recibió instrucciones respecto a las tareas experimentales, así como ensayos de prueba para practicar la ejecución de la tarea. Tanto las instrucciones como los ensayos de prueba podían ser repetidos las veces que el voluntario considerara necesarias.

Una vez que el voluntario considerara que le había quedado suficientemente clara la tarea, se daba inicio al primer bloque experimental. Cada bloque experimental tenía una duración aproximada de 10 minutos 40 segundos sin interrupciones, y entre cada bloque se le proporcionaba al voluntario un periodo de descanso, cuya duración estaba a discreción de cada participante.

8.6. Análisis de datos

8.6.1. Mediciones conductuales

La proporción de aciertos en la TMV fue denotada como "precisión" en la actividad, y utilizada como indicador de la capacidad de memoria de trabajo de los sujetos. La proporción de estímulos No-go en los que cada participante logró evitar la emisión de una respuesta fue utilizada como indicador de la capacidad de control inhibitorio del sujeto.

Teoría de Detección de Señales

Medidas de Teoría de Detección de señales fueron calculadas considerando el cambio como la señal de interés. La terminología de esta teoría también fue retomada de la siguiente manera:

- *Hit*: Cuando se presenta un cambio, y el sujeto indica la presencia de un cambio. Este tipo de respuesta es considerado correcto.
- *Miss*: Indica la presencia de un cambio y una respuesta del sujeto señalando la ausencia de éste. Este tipo de respuesta es considerado incorrecto.
- *Correct-Rejection*: Cuando un cambio no se presenta, y el sujeto indica correctamente la ausencia de éste. Este tipo de respuesta es considerado correcto.
- *False-Alarm*: Indica la ausencia de un cambio, pero una respuesta del sujeto señalando que detectó un cambio. Este tipo de respuesta es considerado incorrecto.

El cálculo de las medidas se llevó a cabo de acuerdo con los procedimientos propuestos por Stanislaw y Todorov (1999):

d' fue tomada como medida de la sensibilidad a la señal, y calculada con la formula:

$$d' = \phi^{-1}(H) - \phi^{-1}(F) \quad (8.1)$$

Donde H representa el *hit-rate*, el cuál es calculado dividiendo el número de *hits* entre el número de trials que contienen la señal; F representa *false-alarm-rate*, el cual es calculado dividiendo el número de *false-alarms* entre el número de trials que no contienen la señal, y $\phi^{-1}(x)$ indica una transformación de probabilidades a puntajes Z. Un valor de 0 en d' indica la incapacidad para distinguir el ruido de la señal, mientras que valores positivos de d' indican sensibilidad a la señal, entre mayor es el valor mayor es la sensibilidad.

c fue tomada como medida del sesgo de las respuestas, la cual es calculada con la formula:

$$c = \frac{\phi^{-1}(H) + \phi^{-1}(F)}{2} \quad (8.2)$$

Valores negativos de c indican un sesgo con preferencia a responder “No”, valores positivos indican un sesgo con preferencia a responder “Si”, y valores cercanos al 0 indican la ausencia de sesgo.

8.6.2. Registros electroencefalográficos

Pre-procesado de datos

Todos los sets de datos fueron filtrados usando el Filtro de Respuesta Finita proporcionado por ERPlab. Fue utilizado un pase de banda con high-pass de 0.1 Hz y low-pass de 50 Hz (Widmann, Schröger, y Maess, 2015), con un orden de 4092.

Cómputo de potenciales relacionados con eventos

El cómputo de ERP fue realizado utilizando el procedimiento estándar para esta técnica (Handy, 2005; Luck, 2005d).

Para el periodo de prueba se extrajeron épocas tomando como referencia el inicio del periodo. Las épocas abarcaron desde 200ms previos al inicio del ensayo, hasta 857.501ms posteriores al inicio del ensayo (el tiempo de finalización de las épocas fue decidido en función del tiempo promedio de respuesta en la TMV Control).

Se realizó la detección y rechazo de artefactos usando la técnica “pico-a-pico” (Markey, Luck, y Lopez-Calderon, s.f.; Talsma y Woldorff, 2005, p. 117) en conjunto con inspección visual. Para la detección “pico-a-pico” el criterio de rechazo fue una diferencia de 100 μ V entre el puntaje mas alto y el puntaje mas bajos registrados en una ventana de tiempo de 200ms, con pasos de 100ms. Aquellas épocas en las que se detectaron artefactos fueron descartadas para el análisis.

Los ERP se calcularon promediando las épocas que no fueron descartadas durante la detección de artefactos.

Componentes de ERP

Para evaluar los diferentes componentes, se utilizaron ventanas de tiempo definidas tomando como referencia literatura previa y observación de la forma de onda, con el fin de capturar los picos principales. Se utilizó la amplitud media registrada en las ventanas de tiempo como indicador de los respectivos componentes, en la tabla 8.2

Tabla 8.2: Ventanas de tiempo designadas para el análisis de los componentes

Componente	Ventana de tiempo
P1	70 - 135 ms
N1	135 - 200 ms
P2	200 - 260 ms
P3	300 - 500 ms

Zonas del cuero cabelludo

Con el fin de incluir las variables *Zona* y *Hemisferio* para tipificar mejor los componentes, se llevó a cabo un análisis agrupando los electrodos en función de la región anatómica que ocupan, en la tabla 8.3 puede observarse con detalle los electrodos asignados a cada región, mientras que en la figura 8.8 se muestran de manera esquemática.

Tabla 8.3: Electrodo asignados a cada región anatómica

Región	Electrodos		Electrodos/hemisferio
	Hemisferio Izquierdo	Hemisferio Derecho	
Frontal	Fp1, F3, F7, FC1, FC5	Fp2, F4, F8, FC2, FC6	5
Temporal	FT9, T7, TP9, P7	FT10, T8, TP10, P9	4
Parietal	CP5, CP1, P3	CP6, CP2, P4	3
Occipital	O1	O2	1

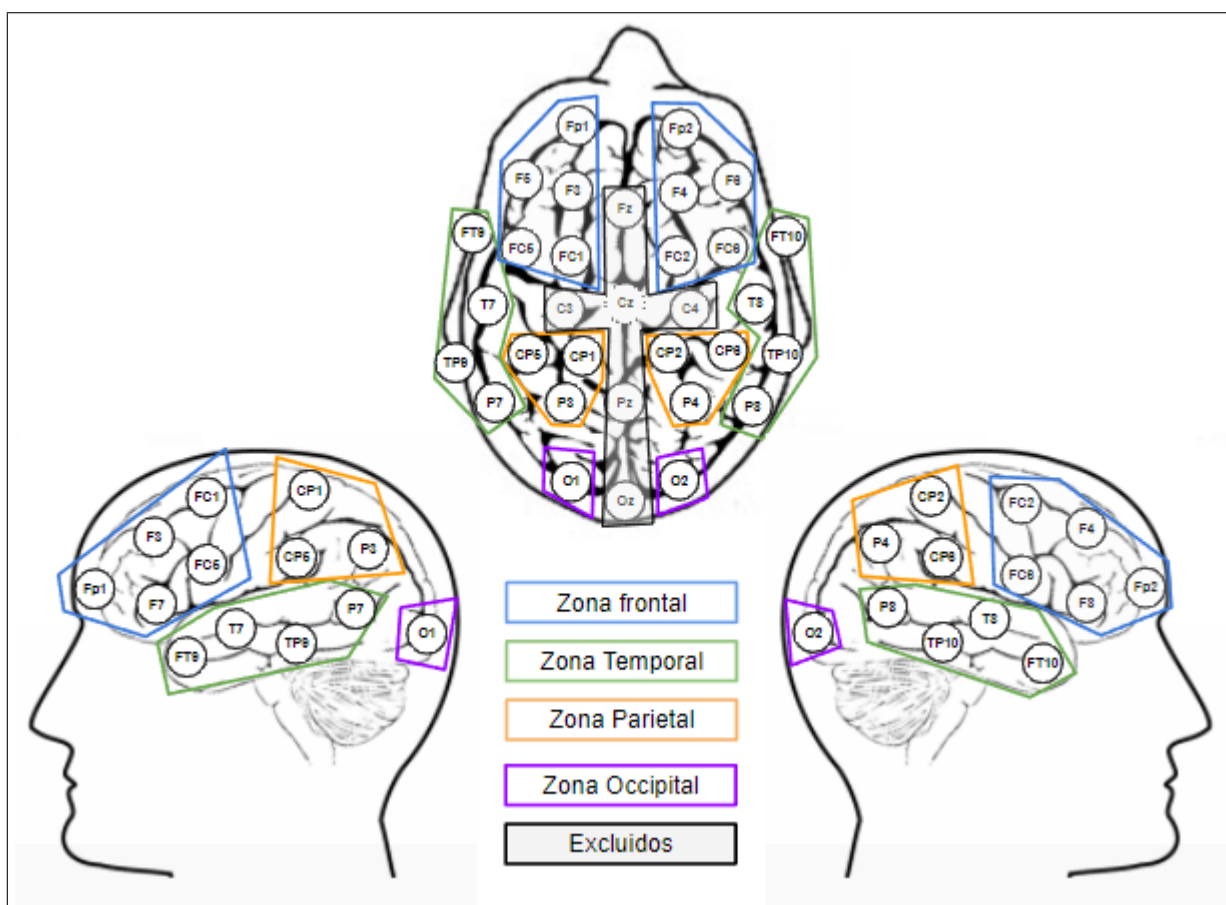


Figura 8.8: Diagrama mostrando la colocación de los electrodos y su asignación a las respectivas zonas del cuero cabelludo. Tanto los electrodos de la línea media (Fz, Pz, Oz, y la referencia Cz), como los adyacentes al electrodo de referencia (C3, C4) no fueron asignados a ninguna región.

Capítulo 9

Resultados

9.1. Resultados conductuales

9.1.1. Precisión de las respuestas

Se evaluó la normalidad de la precisión (proporción de respuestas correctas) de los sujetos por medio de pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk, con base en las cuales se rechazó la normalidad en las condiciones Cuadrado ($W = 0.93457$, $p = 0.03452$), Irregular ($W = 0.94238$, $p = 0.06028$), pero no en la condición control ($W = 0.96563$, $p = 0.3184$). Debido a que dos de las condiciones no poseen normalidad, se usaron análisis no-paramétricos.

Para la condición control, la mediana de precisión fue 0.5466667 ± 0.093898 desviación absoluta de la mediana (DAM), en la condición Cuadrado la mediana de precisión fue 0.54 ± 0.108724 DAM, y la condición Irregular tuvo una mediana de 0.5333333 ± 0.093898 DAM. En la figura 9.1 se muestran la mediana y cuartiles para las tres condiciones. Al evaluarse por medio de un test de Friedman no se encontró un efecto significativo de la condición sobre la precisión ($\chi^2 = 1.4406$, $df = 2$, $p = 0.4866$).

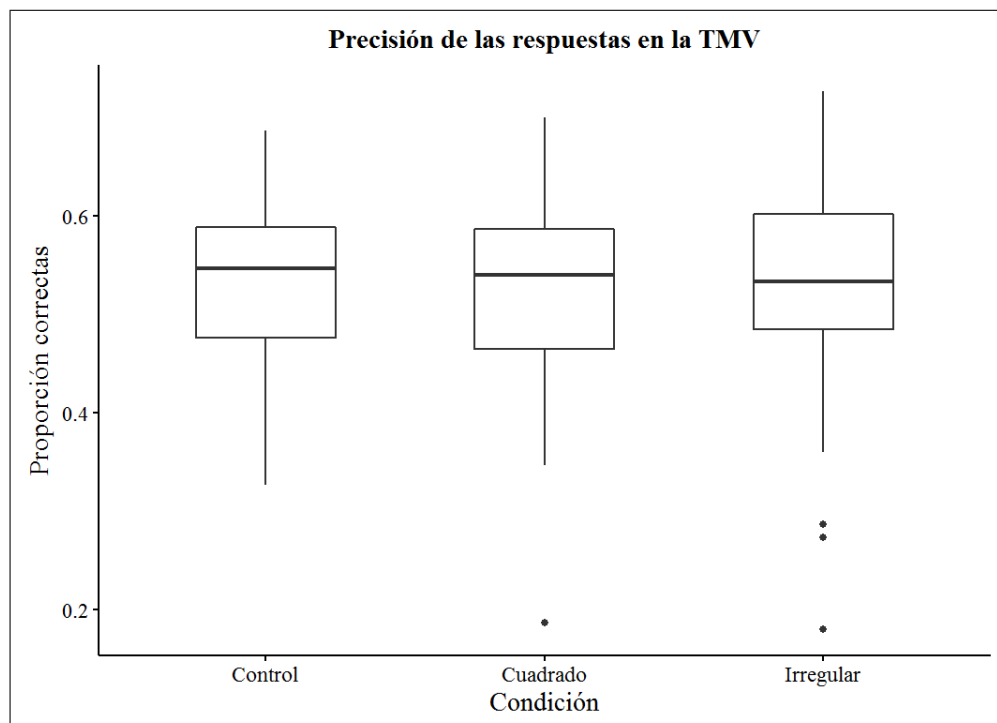


Figura 9.1: Precisión de los sujetos en la TMV como función de la condición experimental. Los valores graficados son medianas (Proporción de aciertos), rango intercuartil (Caja), y valores máximos-mínimos (Bigotes) no correspondientes a casos atípicos (Puntos).

9.1.2. Tiempos de respuesta

Se evaluó la normalidad de los tiempos de respuesta usando pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk, con base en las cuales se rechazó la normalidad en las condiciones Cuadrado ($W = 0.93883$, $p = 0.04673$) e Irregular ($W = 0.93338$, $p = 0.03173$), pero no en la condición Control ($W = 0.9624$, $p = 0.2547$). Para la condición Control, la mediana del tiempo de respuesta fue $849.755 \text{ ms.} \pm 75.5255 \text{ DAM}$, en la condición Cuadrado fue $871.5788 \pm 41.06431 \text{ DAM}$, y en la condición Irregular la mediana del tiempo de respuesta fue $877.4225 \pm 67.3156 \text{ DAM}$. En la figura 9.2 se muestra la comparación entre los tiempos de respuesta de las tres condiciones. Un test de Friedman no encontró un efecto significativo de la condición experimental ($\chi^2 = 0.16667$, $df = 2$, $p = 0.92$).

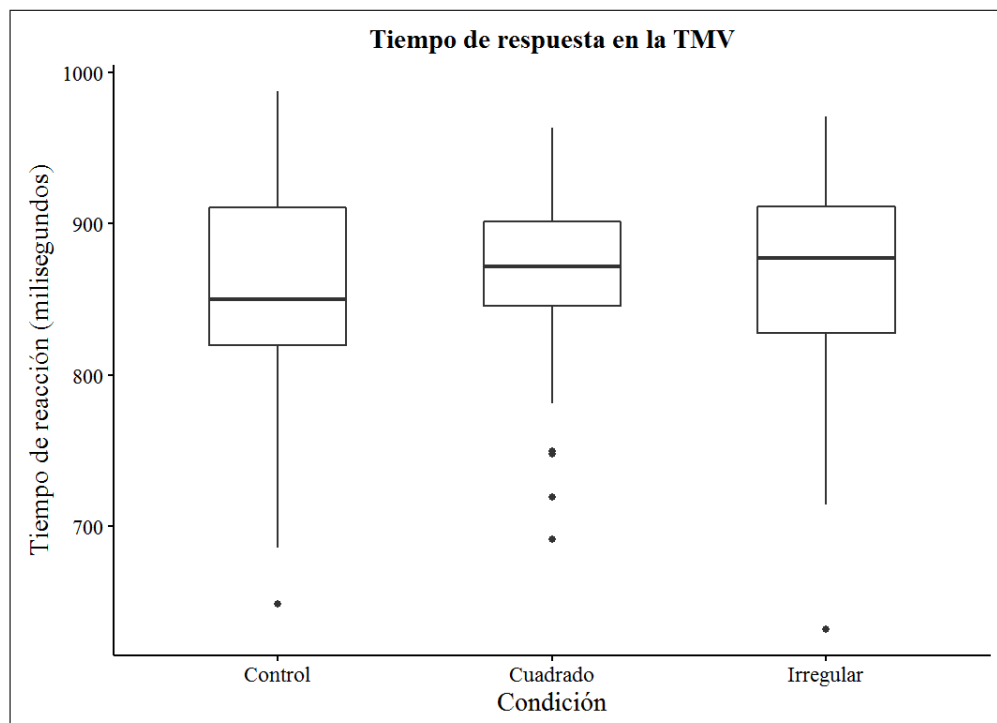


Figura 9.2: Tiempo de respuesta de los sujetos en la TMV como función de la condición experimental. Los valores graficados son medianas (milisegundos), rango intercuartil (Caja), y valores máximos-mínimos (Bigotes) no correspondientes a casos atípicos (Puntos).

9.1.3. Teoría de Detección de Señales

Sensibilidad

Fue evaluada la normalidad en d' , y al igual que en las variables anteriores, las condiciones Cuadrado e Irregular no superaron la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk ($W = 0.93839, p = 0.04528$; $W = 0.93122, p = 0.02727$), mientras que la condición Control si lo hizo ($W = 0.98465, p = 0.8875$).

En las tres condiciones los sujetos mostraron una sensibilidad moderada-alta: para la condición Control, la mediana de sensibilidad fue 0.76 ± 0.41 DAM, en la condición Cuadrado la mediana de d' fue 0.72 ± 0.38 DAM, y en la condición Irregular la mediana de sensibilidad fue 0.74 ± 0.39 DAM, en la figura 9.3 se muestra la comparación entre

las tres condiciones. Una prueba de Friedman no detectó diferencias significativas ($\chi^2 = 0.88112$, $df = 2$, $p = 0.6437$).

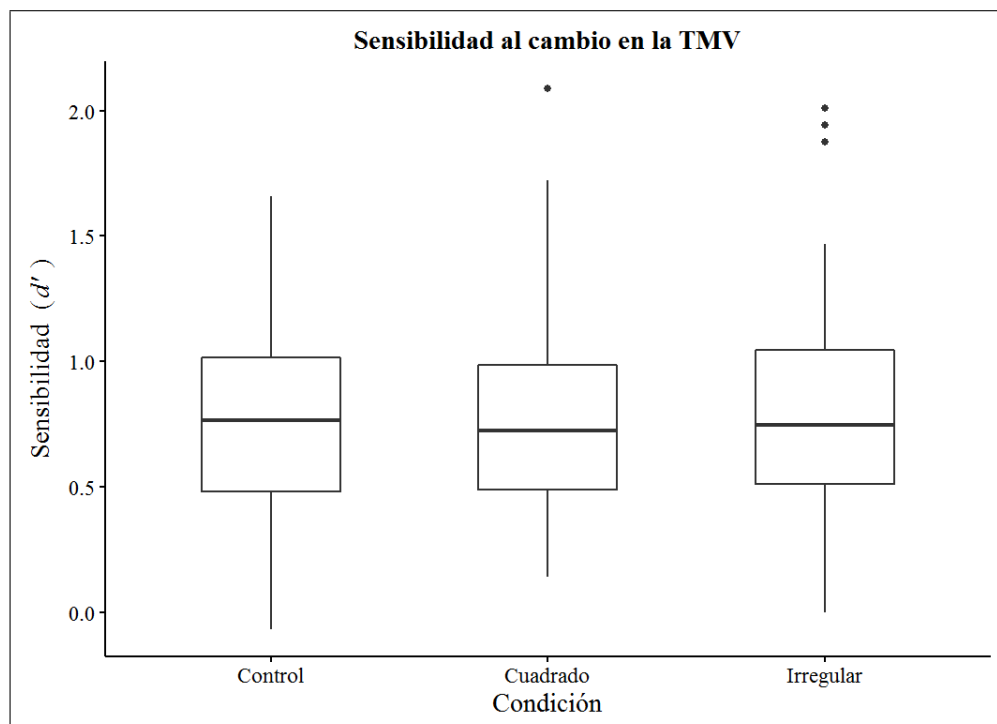


Figura 9.3: Sensibilidad a la señal de los sujetos en la TMV como función de la condición experimental. Los valores graficados son medianas (d'), rango intercuartil (Caja), y valores máximos-mínimos (Bigotes) no correspondientes a casos atípicos (Puntos).

Sesgo

Se evaluó la normalidad en c con pruebas de Shapiro-Wilk, la condición Control superó la prueba de normalidad ($W = 0.98027$, $p = 0.7543$), pero no la condición Cuadrado ($W = 0.93839$, $p = 0.04528$) ni la condición Irregular ($W = 0.93122$, $p = 0.02727$).

Los sujetos mostraron una tendencia a responder “NO” en todas las condiciones: Para la condición control la mediana de c fue -0.73 ± 0.43 DAM, en la condición Cuadrado la mediana fue de -0.68 ± 0.36 , mientras que en la condición Irregular la mediana fue -0.75 ± 0.43 DAM. En la figura 9.4 se muestra la comparación del sesgo en las tres

condiciones. Un test de Friedman no indicó diferencias significativas ($\chi^2 = 3.035$, $df = 2$, $p = 0.2193$).

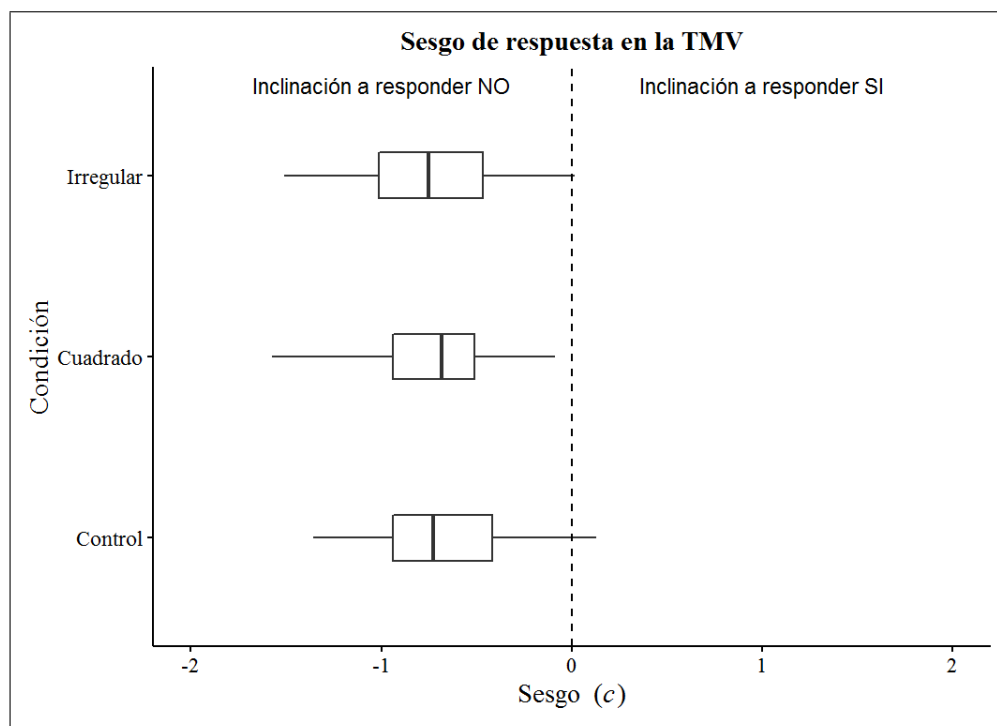


Figura 9.4: Sesgo en la respuesta de los sujetos a la TMV como función de la condición experimental. Los valores graficados son medianas (c), rango intercuartil (Caja), y valores máximos-mínimos (Bigotes) no correspondientes a casos atípicos (Puntos). La línea vertical indica el punto de sesgo inexistente, valores a la izquierda de ésta línea indican una predisposición a responder “NO”, mientras que valores a la derecha indican una predisposición a responder “SI”.

9.1.4. Relación entre Go/No-go y Tarea de Memoria Visual

Se llevaron a cabo pruebas de correlación de Spearman entre la precisión de cada voluntario en la tarea Go/No-go, y las mediciones conductuales obtenidas de su realización de la TMV, los resultados son mostrados en la tabla 9.1.

Se encontró una correlación significativa entre la tarea Go/No-go y la precisión obtenida en la versión cuadrado de la TMV ($S = 5184.3$, $p < 0.05$, $R = 0.33$), y la sensibi-

lidad en las versiones Control y Cuadrado de la TMV ($S = 4401$, $p < 0.01$, $R = 0.43$; $S = 4718.5$, $p < 0.05$, $R = 0.39$). No se encontró una relación significativa entre la tarea Go/No-go y la precisión en las versiones Control e Irregular, el tiempo de respuesta en todas las versiones, la sensibilidad en la versión Irregular, ni el sesgo en todas las versiones.

Tabla 9.1: Correlaciones de la precisión en el paradigma Go/No-go y las distintas mediciones conductuales obtenidas de la TMV

Medición	Versión	S	p	Sig.	R
Precisión TMV	Control	5783	0.132		0.25
	Cuadrado	5184.3	0.047	*	0.33
	Irregular	7068.2	0.600		0.09
Tiempo de Respuesta TMV	Control	6469.7	0.329		0.16
	Cuadrado	8096.6	0.807		-0.04
	Irregular	8397	0.639		-0.08
Sensibilidad (d') TMV	Control	4401	0.008	**	0.43
	Cuadrado	4718.5	0.017	*	0.39
	Irregular	5933.1	0.165		0.23
Sesgo (c) TMV	Control	9766.3	0.130		-0.25
	Cuadrado	9257.8	0.263		-0.19
	Irregular	9247.1	0.266		-0.19

* = Significativo al nivel 0.05, ** = Significativo al nivel 0.01

Nota: Pruebas de correlación de Spearman.

9.2. Resultados electrofisiológicos

9.2.1. Espectro de potencia

De forma general, durante el periodo de prueba se encontró mayor actividad de las bandas lentas, delta y theta, mientras que las bandas rápidas, alpha y beta mostraron

poca actividad; en la figura 9.5 puede observarse el espectro de potencia registrado en las 4 zonas del cuero cabelludo.

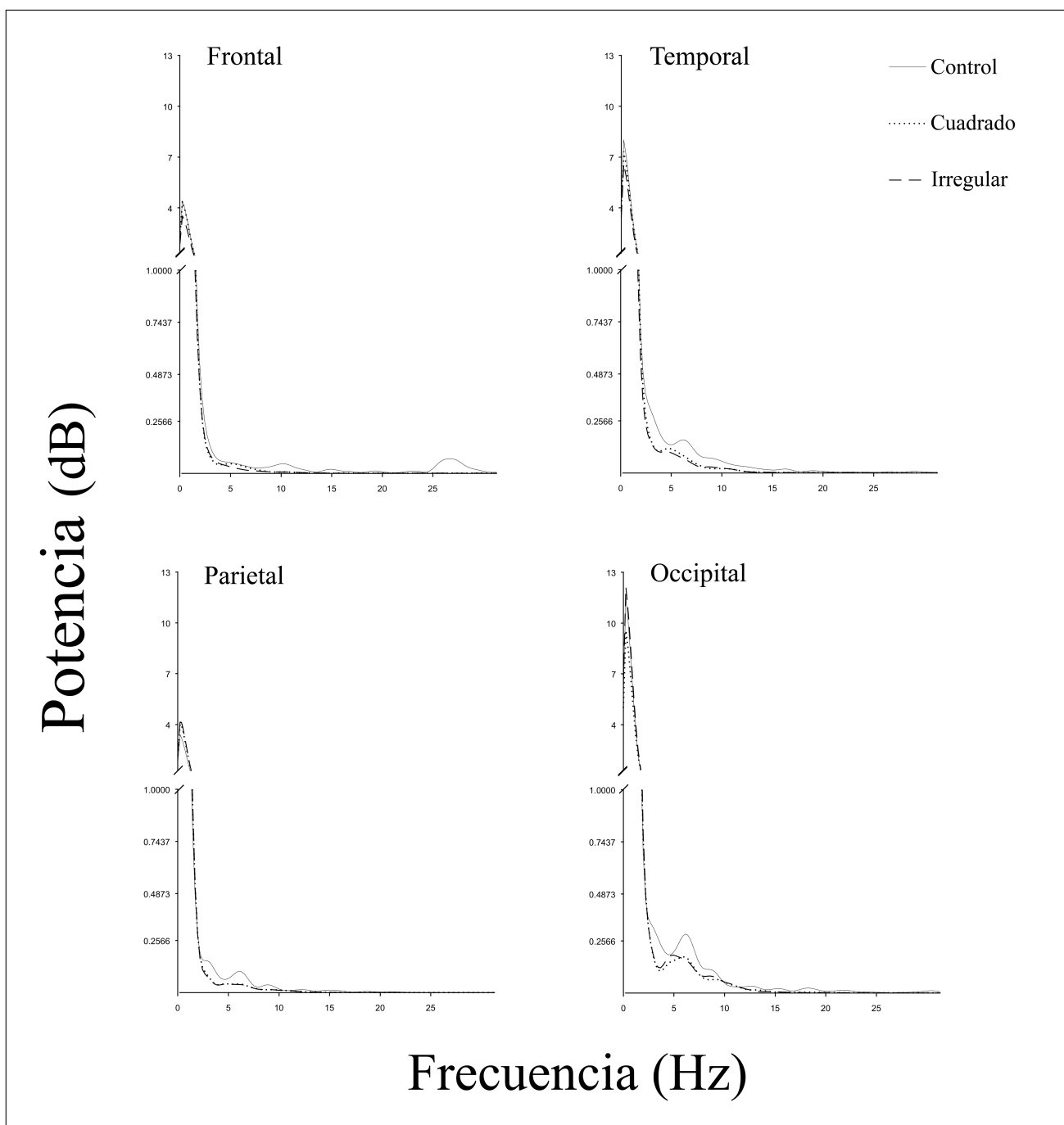


Figura 9.5: Espectro de potencia en las diferentes frecuencias durante el periodo de prueba.

Como puede observarse en la figura 9.6 las banda delta mostró actividad principalmente en zonas frontales y occipitales, la cual fue similar en las tres versiones de la TMV; la banda theta tuvo una mayor actividad en la zona occipital, la cual no varió en función de la versión; la banda alpha mostró mayor actividad en las regiones frontales durante la versión control, esta actividad disminuyó en las versiones cuadrado e irregular, al mismo tiempo hubo un incremento en la zona occipital; finalmente, la banda beta mostró mayor actividad en la zona frontal en todas las versiones de la TMV. A continuación se presenta el análisis estadístico en cada una de las bandas.

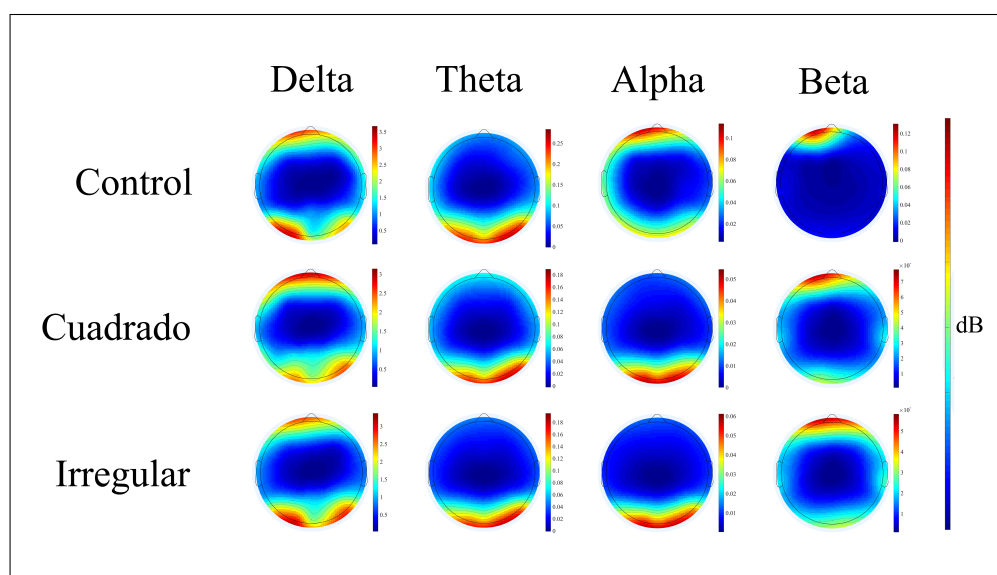


Figura 9.6: Distribución topográfica del espectro de potencia en las diferentes frecuencias durante el periodo de prueba. El valor graficado es la potencia (dB) de cada banda, cada mapa tiene su propia escala de color

Banda Delta

Un ANOVA de medidas repetidas tomando como variable la potencia promedio de la banda Delta y como factores Versión x Zona x Hemisferio, indicó un efecto significativo de la Zona ($F_{3,105} = 4.79$, $p < 0.01$, $\eta_G^2 = 0.004$), pero no de los factores Versión y Hemisferio, ni de las interacciones Versión * Zona, Versión * Hemisferio, Zona * He-

misferio, ni Versión * Zona * Hemisferio ($p > 0.05$).

Tabla 9.2: ANOVA de medidas repetidas en la Potencia Promedio (dB) de la banda Delta

Efecto	Ss	Ms	gl(Factor)	gl(Error)	F	p	Sig.	η_G^2
Versión	1.45	0.72	2	70	0.27	0.696	< 0.001	
Zona	235.10	78.35	3	105	4.79	0.003	**	0.004
Hemisferio	3.50	3.53	1	35	0.33	0.568	< 0.001	
Versión * Zona	11.90	1.97	6	210	1.21	0.299		0.002
Versión * Hemisferio	0.46	0.23	2	70	0.41	0.662	< 0.001	
Zona * Hemisferio	22.70	7.57	3	105	1.04	0.378		0.004
Versión * Zona * Hemisferio	6.09	1.01	6	210	0.94	0.463		0.001

* = Significativo al nivel 0.05, ** = Significativo al nivel 0.01, *** = Significativo al nivel 0.001

Nota: Los valores p presentados son los generados por la corrección de Greenhouse-Geisser.

Un análisis *post-hoc* de Bonferroni no reveló diferencias significativas en la potencia promedio presentada por las distintas zonas del cuero cabelludo ($p > 0.05$). En la figura 9.7 puede observarse la potencia evocada en el espectro Delta en las distintas zonas.

Tabla 9.3: Análisis *post hoc* de la banda Delta usando como variable de agrupación la zona del cuero cabelludo.

Análisis de t pareada con corrección de Bonferroni

Zonas			gl	t	Media de Dif.	IC 95% Dif.		p	Sig.	d de Cohen	IC 95% d	
						Inferior	Superior				Inferior	Superior
Occipital	vs	Frontal	35	2.04	1.11	0.01	2.21	0.288		0.34	-0.13	0.82
Occipital	vs	Temporal	35	1.68	0.61	-0.12	1.33	0.600		0.77	0.28	1.27
Occipital	vs	Parietal	35	2.45	1.36	0.23	2.48	0.114		0.40	-0.07	0.89
Parietal	vs	Frontal	35	-1.48	-0.24	-0.58	0.08	0.872		-0.24	-0.72	0.23
Parietal	vs	Temporal	35	-2.64	-0.75	-1.33	-0.17	0.073		-0.44	-0.92	-0.04
Temporal	vs	Frontal	35	1.96	0.50	-0.01	1.03	0.344		0.32	-0.15	0.80

* = Significativo al nivel 0.05, ** = Significativo al nivel 0.01, *** = Significativo al nivel 0.001

Nota: Los valores p presentados son los generados por la corrección de Bonferroni.

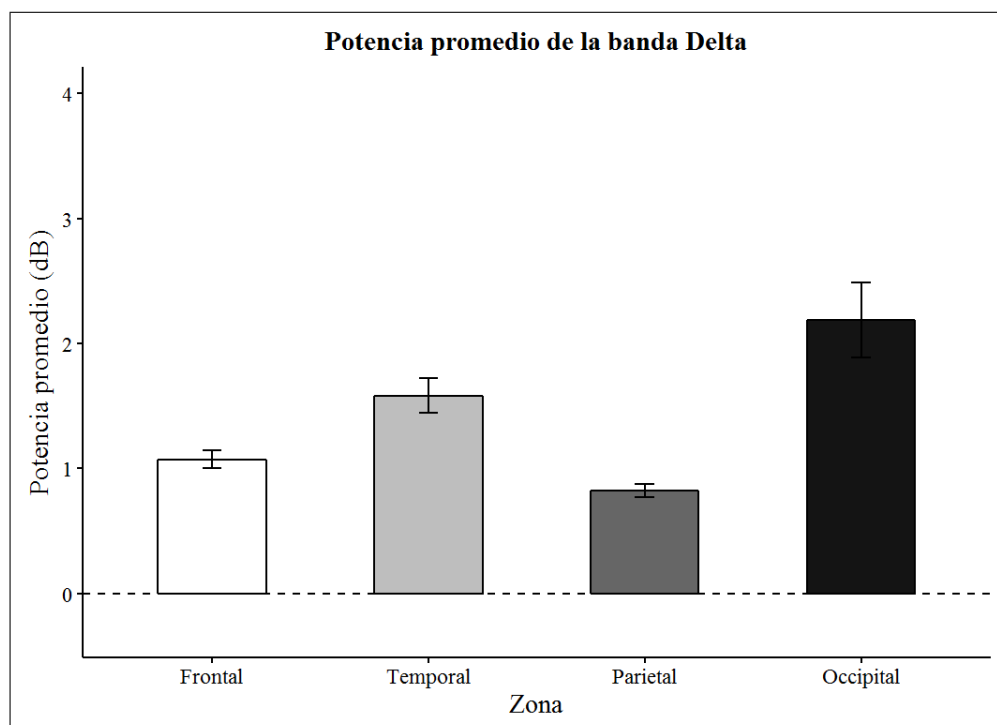


Figura 9.7: Potencia Promedio (dB) en la banda Delta durante el periodo de prueba. Los valores presentados son decibeles en las distintas zonas del cuero cabelludo.

Banda Theta

Un ANOVA de medidas repetidas con los factores Versión x Zona x Hemisferio y la variable dependiente Potencia Promedio (dB) mostró un efecto significativo de la Zona ($F_{3,105} = 25.45$, $p < 0.001$, $\eta_G^2 = 0.08$) y el Hemisferio ($F_{1,35} = 6.88$, $p < 0.05$, $\eta_G^2 < 0.001$), pero no de la interacción entre ambos ($p > 0.05$), asimismo, los demás factores no tuvieron un efecto significativo ($p > 0.05$).

Tabla 9.4: ANOVA de medidas repetidas en la Potencia Promedio (dB) de la banda Theta

Efecto	Ss	Ms	gl(Factor)	gl(Error)	F	p	Sig.	η_G^2
Versión	0.41	0.20	2	70	1.68	0.202		0.015
Zona	2.15	0.71	3	105	25.45	< 0.001	***	0.081
Hemisferio	0.008	0.008	1	35	6.88	0.012	*	< 0.001
Versión * Zona	0.09	0.01	2	210	0.78	0.390		< 0.001
Versión * Hemisferio	0.001	0.0005	2	70	0.75	0.465		< 0.001
Zona * Hemisferio	0.004	0.001	3	105	1.36	0.261		< 0.001
Versión * Zona * Hemisferio	0.005	0.0008	6	210	0.95	0.355		< 0.001

* = Significativo al nivel 0.05, ** = Significativo al nivel 0.01, *** = Significativo al nivel 0.001

Nota: Los valores p presentados son los generados por la corrección de Greenhouse-Geisser.

Un análisis *post-hoc* de Bonferroni indicó diferencias significativas entre las zonas Occipital y Frontal ($t = 4.92$, $p < 0.001$, $d = 0.82$), Occipital y Temporal ($t = 3.77$, $p < 0.01$, $d = 0.62$), Occipital y Parietal ($t = 5.36$, $p < 0.001$, $d = 0.89$), Parietal y Temporal ($t = -7.65$, $p < 0.001$, $d = -1.27$), y Temporal y Frontal ($t = 6.40$, $p < 0.001$, $d = 1.06$), no se encontraron diferencias significativas entre las zonas Parietal y Frontal ($p > 0.05$). En la figura 9.8 se muestra la comparación de la potencia promedio en la banda Theta entre las distintas zonas.

Tabla 9.5: Análisis *post hoc* de la banda Theta usando como variable de agrupación la zona del cuero cabelludo.

Análisis de t pareada con corrección de Bonferroni

Zonas			gl	t	Media de Dif.	IC 95% Dif.		p	Sig.	d de Cohen	IC 95% d	
						Inferior	Superior				Inferior	Superior
Occipital	vs	Frontal	35	4.92	0.12	0.07	0.17	<0.001	***	0.82	0.32	1.31
Occipital	vs	Temporal	35	3.77	0.06	0.03	0.09	0.003	**	0.62	0.14	1.11
Occipital	vs	Parietal	35	5.36	0.11	0.07	0.16	<0.001	***	0.89	0.39	1.39
Parietal	vs	Frontal	35	1.70	0.01	-0.19	0.76	0.588		0.28	-0.19	0.76
Parietal	vs	Temporal	35	-7.65	-0.05	-0.06	-0.03	<0.001	***	-1.27	-1.79	-0.75
Temporal	vs	Frontal	35	6.40	0.05	0.04	0.07	<0.001	***	1.06	0.55	1.57

* = Significativo al nivel 0.05, ** = Significativo al nivel 0.01, *** = Significativo al nivel 0.001

Nota: Los valores p presentados son los generados por la corrección de Bonferroni.

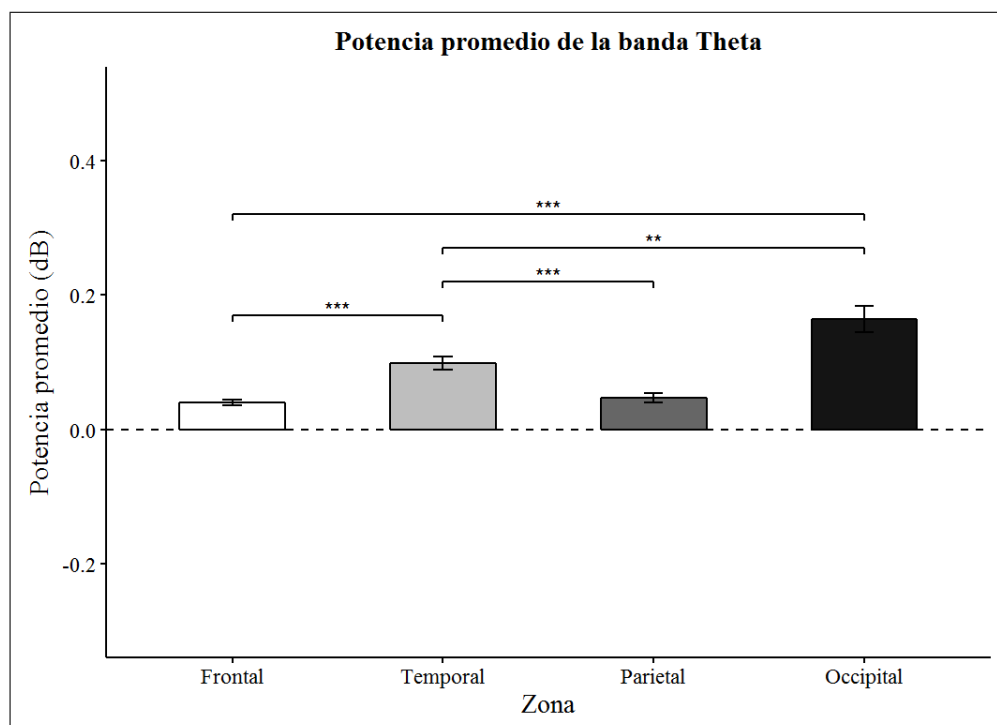


Figura 9.8: Potencia Promedio (dB) en la banda Theta durante el periodo de prueba. Los valores graficados son decibeles en las distintas zonas del cuero cabelludo. Las líneas horizontales sobre las barras indican diferencias significativas entre zonas: ** = Diferencias significativas al nivel $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$.

Respecto a los hemisferios, un análisis *post-hoc* de *t* pareada indicó diferencias significativas entre ambos hemisferios ($t = 2.62$, $p < 0.05$, $d = 0.43$). En la figura 9.9 se muestra la potencia promedio de la banda Theta en ambos hemisferios.

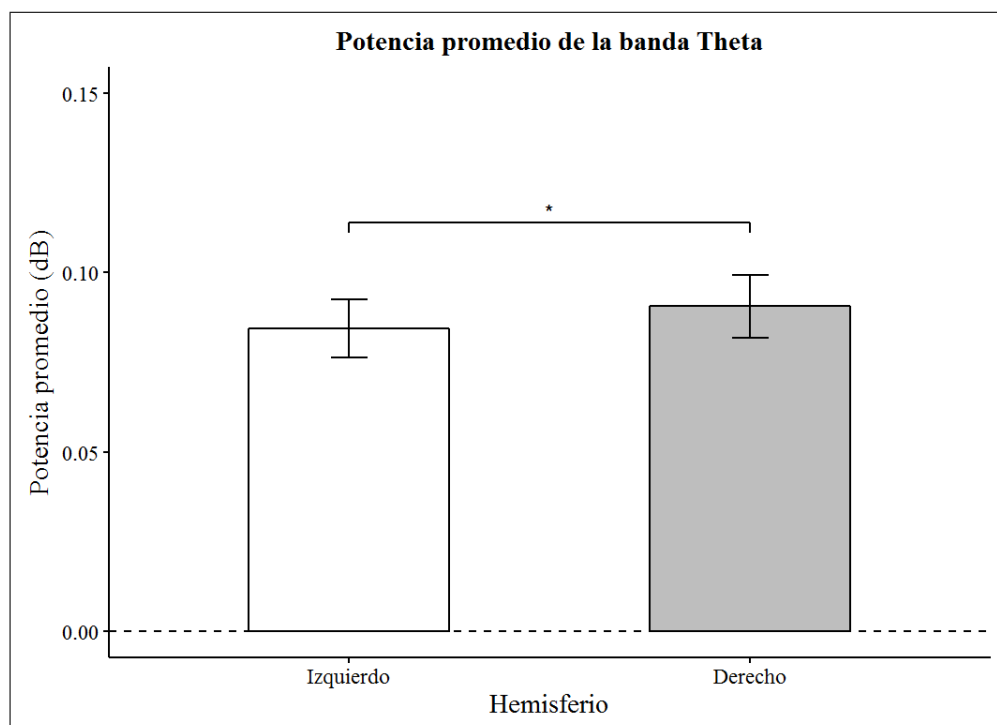


Figura 9.9: Potencia Promedio (dB) en la banda Theta durante el periodo de prueba. Los valores graficados son decibeles en ambos hemisferios sobre el cuero cabelludo. Las líneas horizontales sobre las barras indican diferencias significativas entre zonas: * = Diferencia significativa al nivel $p < 0.05$.

Banda Alpha

Mediante un ANOVA de medidas repetidas con los factores Versión x Zona x Hemisferio y la variable dependiente Potencia Promedio, se encontró un efecto significativo de la Zona ($F_{3,105} = 19.58$, $p < 0.001$, $\eta_G^2 = 0.02$), más no de los factores Versión y Hemisferio, ni de las interacciones entre los factores ($p > 0.05$).

Tabla 9.6: ANOVA de medidas repetidas en la Potencia Promedio (dB) de la banda Alpha

Efecto	Ss	Ms	gl(Factor)	gl(Error)	F	p	Sig.	η_G^2
Versión	0.087	0.04	2	70	0.90	0.508		0.012
Zona	0.174	0.05	3	105	19.58	< 0.001	***	0.025
Hemisferio	0.001	0.001	1	35	0.88	0.354		< 0.001
Versión * Zona	0.019	0.06	6	210	1.49	0.232		0.002
Versión * Hemisferio	0.006	0.003	2	70	1.58	0.216		< 0.001
Zona * Hemisferio	0.002	0.0007	3	105	0.86	0.364		< 0.001
Versión * Zona * Hemisferio	0.006	0.001	6	210	1.16	0.289		0.001

* = Significativo al nivel 0.05, ** = Significativo al nivel 0.01, *** = Significativo al nivel 0.001

Nota: Los valores p presentados son los generados por la corrección de Greenhouse-Geisser.

Un análisis *post-hoc* de Bonferroni indicó diferencias significativas entre las zonas Occipital y Frontal ($t = 7.59$, $p < 0.001$, $d = 1.29$), Occipital y Temporal ($t = 5.31$, $p < 0.001$, $d = 0.88$), Occipital y Parietal ($t = 5.99$, $p < 0.001$, $d = 0.99$), y Temporal y Frontal ($t = 7.07$, $p < 0.001$, $d = 1.17$); no se encontraron diferencias significativas entre la zona Parietal y las zonas Frontal y Temporal ($p > 0.05$). En la figura 9.10 puede observarse la potencia promedio de la banda Alpha en las distintas zonas.

Tabla 9.7: Análisis *post hoc* de la banda Alpha usando como variable de agrupación la zona del cuero cabelludo.

Análisis de t pareada con corrección de bonferroni

Zonas			gl	t	Media de Dif.	IC 95% Dif.		p	Sig.	d de Cohen	IC 95% d	
						Inferior	Superior				Inferior	Superior
Occipital	vs	Frontal	35	7.59	0.03	0.02	0.04	<0.001	***	1.29	0.74	1.78
Occipital	vs	Temporal	35	5.31	0.01	0.01	0.02	<0.001	***	0.88	0.38	1.38
Occipital	vs	Parietal	35	5.99	0.03	0.02	0.04	<0.001	***	0.99	0.49	1.50
Parietal	vs	Frontal	35	-0.58	-0.003	-0.16	0.01	1		-0.09	-0.57	0.38
Parietal	vs	Temporal	35	-2.25	-0.01	-0.03	-0.001	0.180		-0.37	-0.85	0.10
Temporal	vs	Frontal	35	7.07	0.01	0.009	0.02	<0.001	***	1.17	0.66	1.69

* = Significativo al nivel 0.05, ** = Significativo al nivel 0.01, *** = Significativo al nivel 0.001

Nota: Los valores p presentados son los generados por la corrección de Bonferroni.

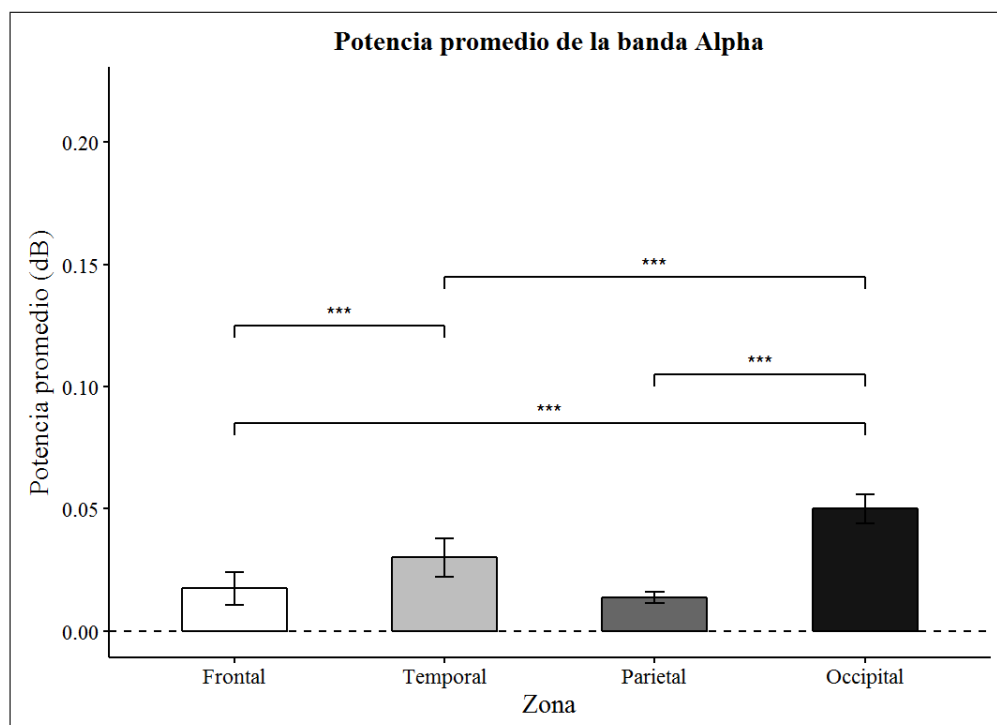


Figura 9.10: Potencia Promedio (dB) en la banda Alpha durante el periodo de prueba. Los valores graficados son decibeles en las distintas zonas del cuero cabelludo. Las lineas horizontales sobre las barras indican diferencias significativas entre zonas: *** = Diferencia significativa al nivel $p < 0.001$.

Banda Beta

Al llevarse a cabo un ANOVA de medidas repetidas sobre la Potencia Promedio de la banda Beta utilizando como factores Versión x Zona x Hemisferio, no se encontró un efecto significativo de ningún factor, ni tampoco de las interacciones entre factores. Los resultados del análisis se muestran en la tabla 9.8

Tabla 9.8: ANOVA de medidas repetidas en la Potencia Promedio (dB) de la banda Beta

Efecto	Ss	Ms	<i>gl</i> (Factor)	<i>gl</i> (Error)	<i>F</i>	<i>p</i>	Sig.	η^2_G
Versión	0.017	0.008	2	70	1.08	0.304		0.011
Zona	0.005	0.0006	3	105	1.28	0.264		0.003
Hemisferio	0.0006	0.0006	1	35	0.94	0.337	< 0.001	
Versión * Zona	0.007	0.001	6	210	0.97	0.329		0.004
Versión * Hemisferio	0.001	0.0005	2	70	1.01	0.322	< 0.001	
Zona * Hemisferio	0.001	0.0004	3	105	1.08	0.304	< 0.001	
Versión * Zona * Hemisferio	0.002	0.0003	6	210	1.02	0.319		0.001

* = Significativo al nivel 0.05, ** = Significativo al nivel 0.01, *** = Significativo al nivel 0.001

Nota: Los valores *p* presentados son los generados por la corrección de Greenhouse-Geisser.

9.2.2. Componentes sincrónicos

En la figura 9.11 puede observarse la distribución topográfica de cada componente, los valores graficados son los voltajes (μV) registrados durante las ventanas de tiempo mostradas en la tabla 8.2 de la sección 8.6.2. Como puede apreciarse, la actividad se presentó en regiones posteriores, específicamente la zona occipital mostró la mayor actividad, seguida de la zona parietal y temporal, mientras que las zonas frontales presentaron la menor actividad electrofisiológica. A continuación se presentan los análisis estadísticos llevados a cabo sobre los componentes.

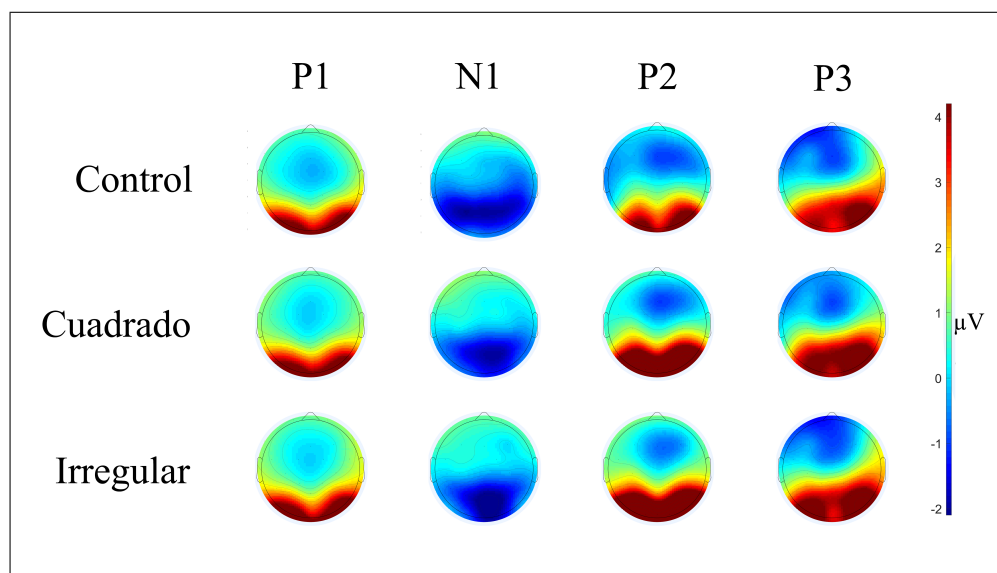


Figura 9.11: Mapas topográficos de los componentes

P1

En la figura 9.12 puede observarse la ventana de tiempo designada para el análisis del P1, así como el segmento de la forma de onda que captura en cada zona.

Un ANOVA de medidas repetidas con el tamaño del P1 como variable dependiente y los factores Versión x Zona x Hemisferio como variables independientes indicó un efecto significativo de la Zona ($F_{3,105} = 39.02$, $p < 0.001$, $\eta_G^2 = 0.279$) y de la interacción Zona*Hemisferio ($F_{3,105} = 11.45$, $p < 0.001$, $\eta_G^2 = 0.005$), pero no se encontró un efecto significativo del Hemisferio, la versión de la TMV, ni de las interacciones Versión*Hemisferio y Versión*Zona*Hemisferio. Los resultados del análisis son mostrados en la tabla 9.16.

Un análisis *post-hoc* de Bonferroni reveló diferencias significativas entre las zonas Occipital y Frontal ($t = 6.64$, $p < 0.001$, $d = 1.10$), Occipital y Temporal ($t = 4.62$, $p < 0.001$, $d = 0.77$), Occipital y Parietal ($t = 6.32$, $p < 0.001$, $d = 1.05$), Parietal y Frontal ($t = 5.10$, $p < 0.001$, $d = 0.85$), Parietal y Temporal ($t = -4.77$, $p < 0.001$, $d = -0.79$), y Temporal y Frontal ($t = 9.25$, $p < 0.001$, $d = 1.54$), todas las zonas mostraron diferentes niveles de actividad durante esta ventana de tiempo; los resultados de este análisis

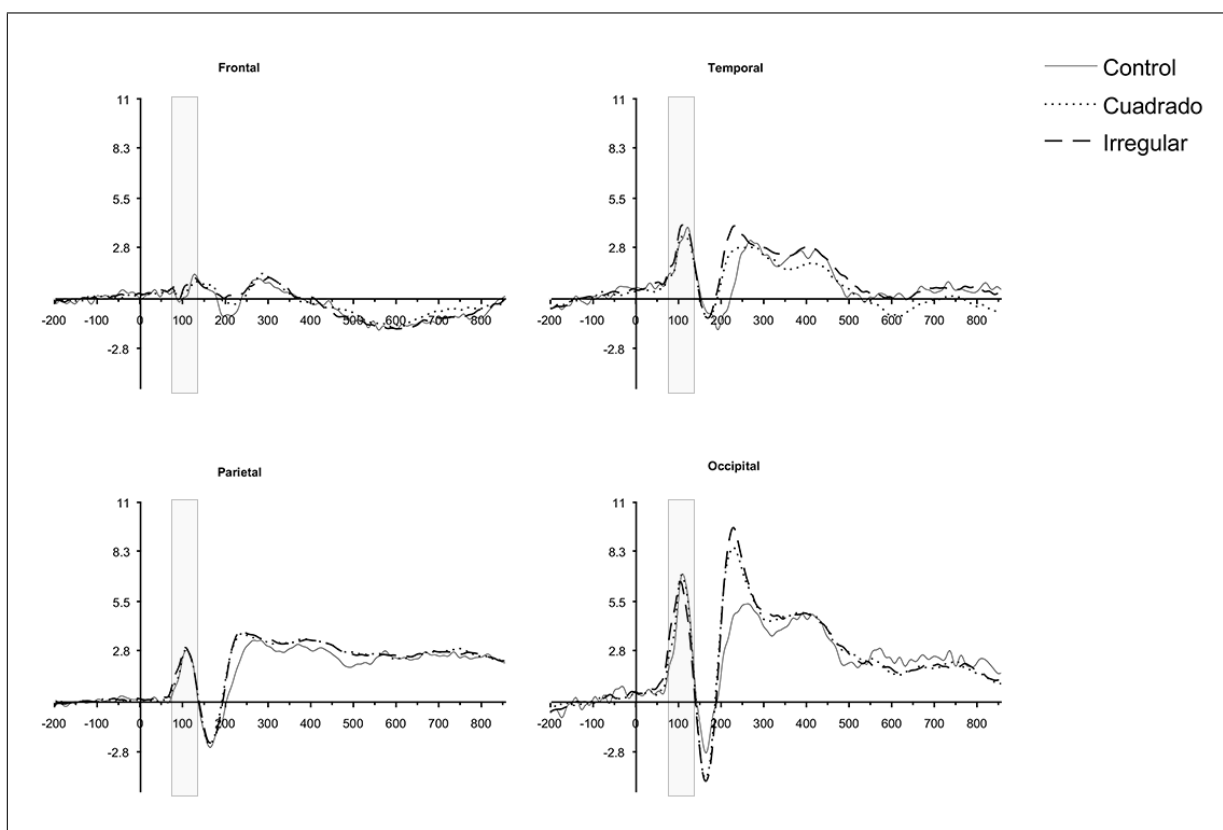


Figura 9.12: Ventana de tiempo para el análisis del P1, las figuras mostradas son los Grandes Promedios de las 4 zonas del cuero cabelludo. La zona sombreada representa la ventana de tiempo (70-135ms.). Se presentan 3 formas de onda, una por cada versión de la TMV: línea continua = versión control, línea punteada = versión cuadrado, línea discontinua = versión irregular.

se muestran en la tabla 9.10, y en la figura 9.13 puede observarse la comparación del tamaño del P1 entre las diferentes zonas del cuero cabelludo.

zi

Tabla 9.9: ANOVA de medidas repetidas en la amplitud media (μV) del componente P1 en el periodo de Test

Efecto	Ss	Ms	gl(Factor)	gl(Error)	F	p	Sig.	η_G^2
Versión	12.8	6.405	2	70	0.71	0.467		0.002
Zona	1707.00	569.0	3	105	39.02	< 0.001	***	0.279
Hemisferio	1.88	1.884	1	35	0.89	0.351		< 0.001
Versión*Zona	4.78	0.796	6	210	0.73	0.546		< 0.001
Versión*Hemisferio	0.215	0.108	2	70	0.26	0.759		< 0.001
Zona*Hemisferio	34.28	11.428	3	105	11.45	< 0.001	***	0.005
Versión*Zona*Hemisferio	2.12	0.354	6	210	1.98	0.129		< 0.001

* = Significativo al nivel 0.05, ** = Significativo al nivel 0.01, *** = Significativo al nivel 0.001

Nota: Los valores p presentados son los generados por la corrección de Greenhouse-Geisser.

Tabla 9.10: Análisis *post hoc* del componente P1 usando como variable de agrupación la zona del cuero cabelludo. Análisis de t pareada con corrección de bonferroni

Zonas			gl	t	Media de Dif.	IC 95% Dif.		p	Sig.	d de Cohen	IC 95% d	
						Inferior	Superior				Inferior	Superior
Occipital	vs	Frontal	35	6.64	3.86	2.68	5.04	<0.001	***	1.10	0.59	1.62
Occipital	vs	Temporal	35	4.62	1.87	1.05	2.70	<0.001	***	0.77	0.28	1.27
Occipital	vs	Parietal	35	6.32	2.69	1.83	3.56	<0.001	***	1.05	0.54	1.56
Parietal	vs	Frontal	35	5.10	1.16	0.70	1.62	<0.001	***	0.85	0.35	1.35
Parietal	vs	Temporal	35	-4.77	-0.82	-1.17	-0.47	<0.001	***	-0.79	-1.29	-0.30
Temporal	vs	Frontal	35	9.25	1.98	1.55	2.42	<0.001	***	1.54	0.99	2.08

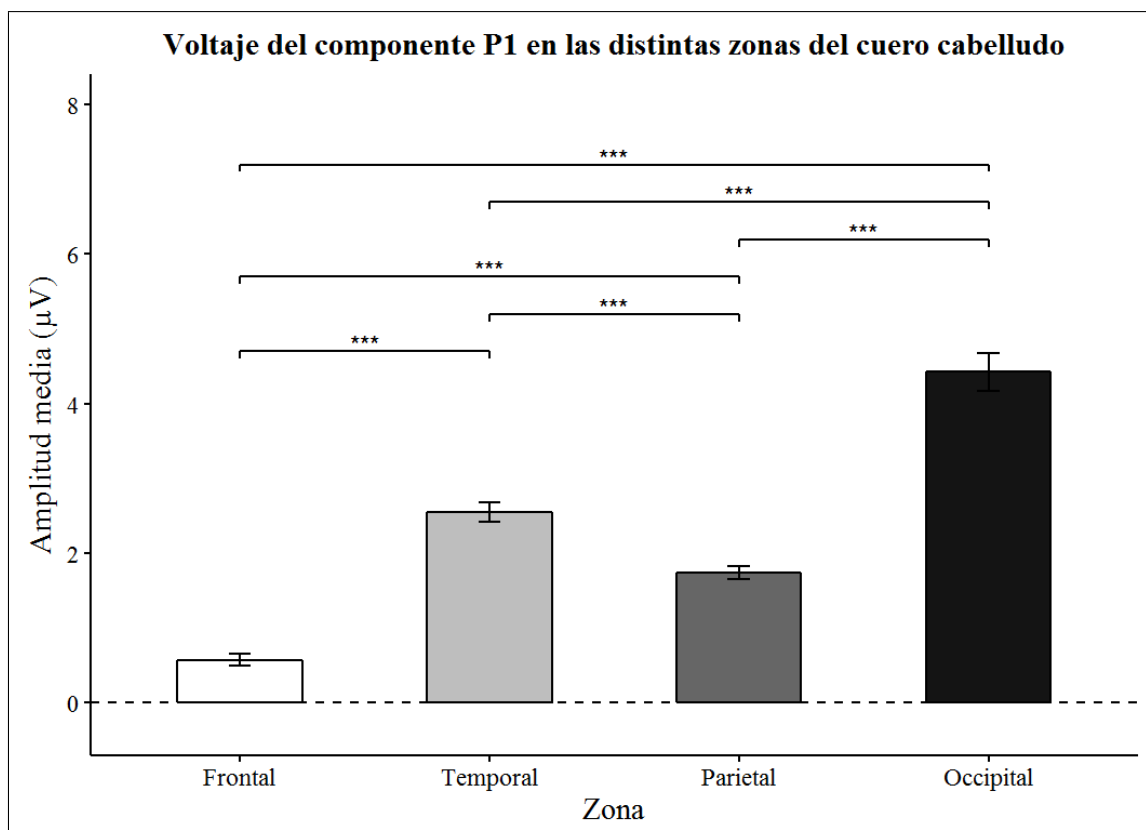


Figura 9.13: Comparación de la amplitud media (μV) del componente P1 entre las distintas zonas del cuero cabelludo. Los valores graficados son medias $\pm$ error estándar. *** = Diferencia significativa al nivel $p < 0.001$.

N1

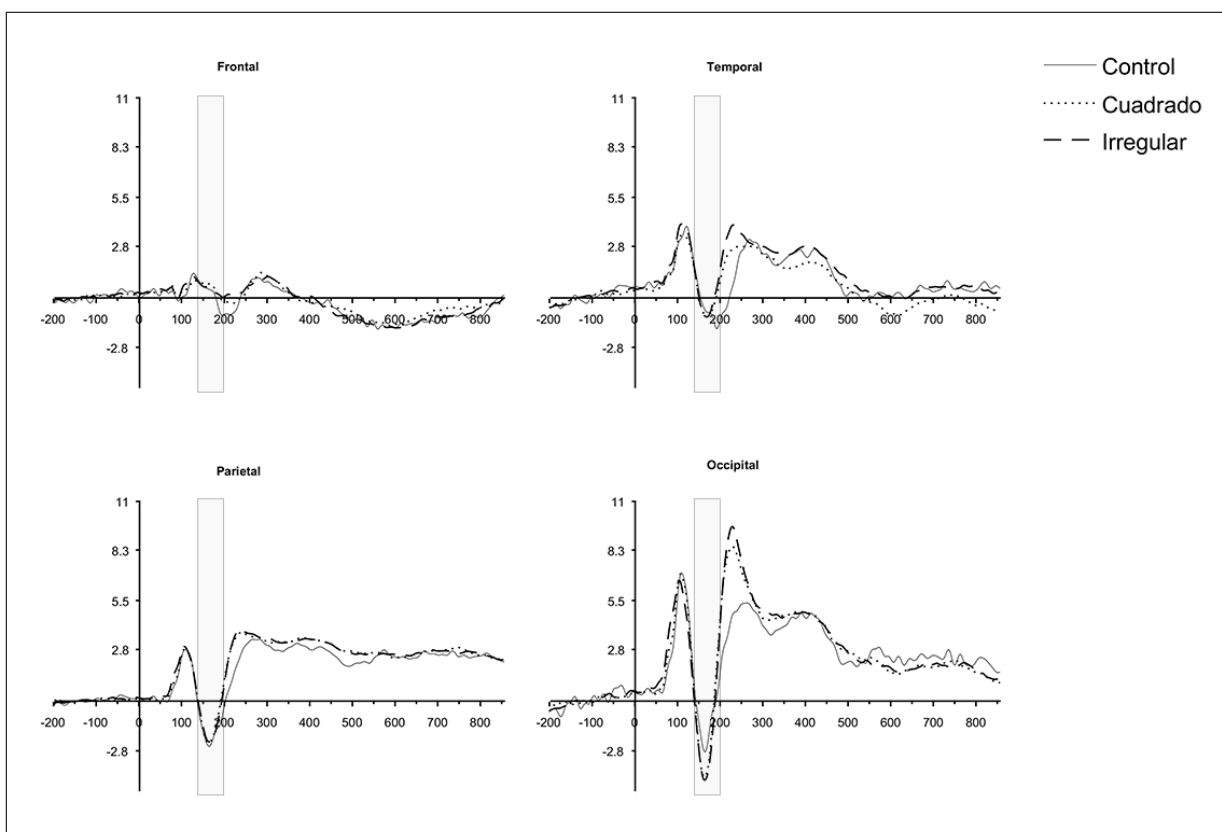


Figura 9.14: Ventana de tiempo para el análisis del N1, las figuras mostradas son los Grandes Promedios de las 4 zonas del cuero cabelludo. La zona sombreada representa la ventana de tiempo (135-200ms.). Se presentan 3 formas de onda, una por cada versión de la TMV: línea continua = versión control, línea punteada = versión cuadrado, línea discontinua = versión irregular.

En la figura 9.14 se muestra la ventana de tiempo seleccionada para el análisis del N1, así como el segmento de la forma de onda que abarca en cada zona del cuero cabelludo.

Al analizar el tamaño del componente N1 con un ANOVA de medidas repetidas se encontró un efecto significativo de la Zona ($F_{3,105} = 4.81, p < 0.05, \eta_G^2 = 0.045$), la interacción Versión*Zona ($F_{6,6} = 3.67, p < 0.01, \eta_G^2$), la interacción Zona*Hemisferio ($F_{3,105} = 3.52, p < 0.05, \eta_G^2 = 0.001$) y de la interacción Versión*Zona*Hemisferio ($F_{6,210} = 2.69,$

$p < 0.05$, $\eta_G^2 < 0.001$); no se encontró un efecto de los factores Versión, Hemisferio, ni de la interacción Versión*Hemisferio. Los resultados de este análisis se muestran en la tabla 9.11.

Tabla 9.11: ANOVA de medidas repetidas en la amplitud media (μV) del componente N1 en el periodo de Test

Efecto	Ss	Ms	gl(Factor)	gl(Error)	F	p	Sig.	η_G^2
Versión	3.1	1.545	2	70	0.13	0.870	< 0.001	
Zona	442	147.31	3	105	4.81	0.026	*	0.045
Hemisferio	7.21	7.209	1	35	1.18	0.284	< 0.001	
Versión*Zona	36.5	6.077	6	6	3.67	0.007	**	0.003
Versión*Hemisferio	3.67	1.834	2	70	2.98	0.061	< 0.001	
Zona*Hemisferio	12.92	4.307	3	105	3.52	0.041	*	0.001
Versión*Zona*Hemisferio	2.89	0.4818	6	210	2.69	0.041	*	< 0.001

* = Significativo al nivel 0.05, ** = Significativo al nivel 0.01, *** = Significativo al nivel 0.001

Nota: Los valores p presentados son los generados por la corrección de Greenhouse-Geisser.

Un análisis *post-hoc* encontró diferencias significativas entre la zona parietal y las zonas Frontal ($t = -4.75$, $p < 0.001$, $d = -0.79$) y Temporal ($t = -5.01$, $p < 0.001$, $d = -0.89$), no se encontraron mas diferencias significativas en las zonas; la tabla 9.12 muestra los resultados del análisis, mientras que en la figura 9.15 pueden observarse las diferencias en el tamaño del N1.

Tabla 9.12: Análisis *post hoc* del componente N1 usando como variable de agrupación la zona del cuero cabelludo. Análisis de t pareada con corrección de Bonferroni

Zonas			gl	t	Media de Dif.	IC 95% Dif.		p	Sig.	d de Cohen	IC 95% d	
						Inferior	Superior				Inferior	Superior
Occipital	vs	Frontal	35	-1.86	-1.59	-3.33	0.14	0.428		-0.31	-0.78	0.17
Occipital	vs	Temporal	35	-1.91	-1.07	-2.22	0.06	0.387		-0.31	-0.79	0.16
Occipital	vs	Parietal	35	0.15	0.09	-1.10	1.28	≈ 1		0.02	-0.45	0.50
Parietal	vs	Frontal	35	-4.75	-1.68	-2.40	-0.96	<0.001	***	-0.79	-1.28	-0.29
Parietal	vs	Temporal	35	-5.01	-1.17	-1.64	-0.69	<0.001	***	-0.89	-1.33	-0.34
Temporal	vs	Frontal	35	-1.48	-0.51	-1.22	0.19	0.878		-0.25	-0.72	0.23

* = Significativo al nivel 0.05, ** = Significativo al nivel 0.01, *** = Significativo al nivel 0.001

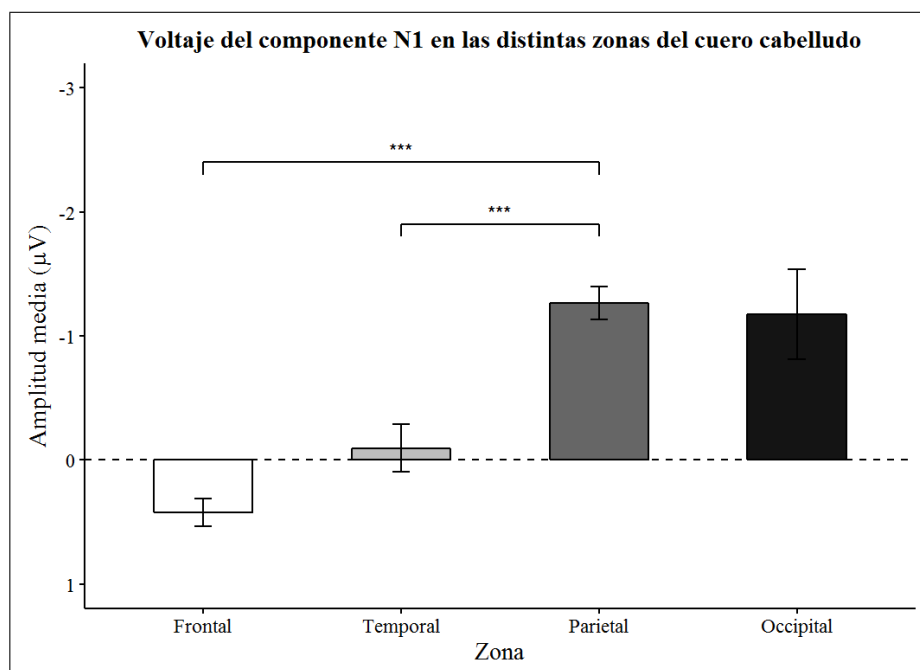


Figura 9.15: Comparación del tamaño del N1 en las distintas zonas del cuero cabelludo. Notese que la amplitud de éste componente fue significativamente mayor en regiones parietales que en regiones frontales y temporales. *** = Diferencia significativa al nivel $p < 0.001$.

P2

Se llevó a cabo un ANOVA de medidas repetidas con el tamaño del P200 (amplitud media μV) como variable dependiente y los factores Versión x Zona x Hemisferio como variables independientes. Este análisis indicó un efecto significativo de la Versión ($F_{2,70} = 33.40$, $p < 0.001$, $\eta_G^2 = 0.04$), la Zona ($F_{3,105} = 50.08$, $p < 0.001$, $\eta_G^2 = 0.29$) y las interacciones Versión x Zona ($F_{3,105} = 16.32$, $p < 0.001$, $\eta_G^2 = 0.01$) y Zona x Hemisferio ($F_{6,210}$, $p < 0.001$, $\eta_G^2 = 0.005$). No se encontró un efecto significativo de la variable Hemisferio, ni de las interacciones Versión x Hemisferio y Versión x Zona x Hemisferio ($p > 0.05$). En la tabla 9.13 se muestran los resultados del análisis.

Un análisis *post-hoc* reveló diferencias significativas entre la versión Control y la versión Cuadrado en las zonas temporal ($gl = 35$, $t = 3.01$, $p < 0.05$, $d = 0.50$), parietal ($gl = 35$, $t = 6.69$, $p < 0.001$, $d = 1.11$), y occipital ($gl = 35$, $t = 6.53$, $p < 0.001$, $d =$

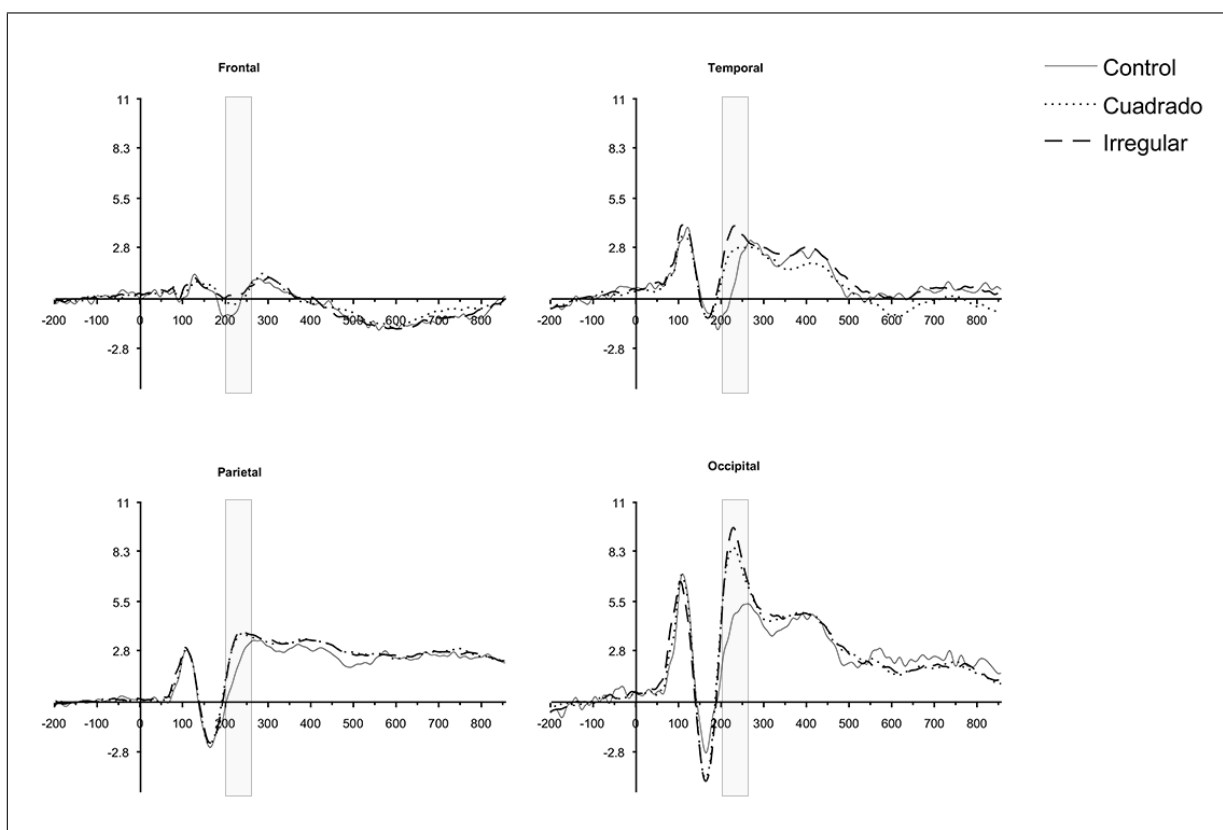


Figura 9.16: Ventana de tiempo para el análisis del P2, las figuras mostradas son los Grandes Promedios de las 4 zonas del cuero cabelludo. La zona sombreada representa la ventana de tiempo (200-260ms.). Se presentan 3 formas de onda, una por cada versión de la TMV: línea continua = versión control, línea punteada = versión cuadrado, línea discontinua = versión irregular.

1.08); diferencias significativas entre la versión Control y la versión Irregular en las zonas frontal ($gl = 35$, $t = 3.40$, $p < 0.01$, $d = 0.56$), temporal ($gl = 35$, $t = 5.73$, $p < 0.001$, $d = 0.96$), parietal ($gl = 35$, $t = 8.49$, $p < 0.001$, $d = 1.41$), y occipital ($gl = 35$, $t = 8.12$, $p < 0.001$, $d = 1.35$). No se encontraron diferencias significativas entre las versiones Irregular y Cuadrado en ninguna de las zonas, los resultados del análisis se presentan en la tabla 9.14.

Respecto a las zonas del cuero cabelludo, el análisis *post-hoc* encontró en la versión Control diferencias significativas entre la zona Occipital y las zonas Frontal ($t =$

Tabla 9.13: ANOVA de medidas repetidas en la amplitud media (μV) del componente P2 en el periodo de Test

Efecto	Ss	Ms	gl(Factor)	gl(Error)	F	p	Sig.	η_G^2
Versión	686.50	343.200	2	70	33.40	< 0.001	***	0.040
Zona	4677.00	1559.000	3	105	50.08	< 0.001	***	0.289
Hemisferio	13.50	13.530	1	35	1.13	0.295		< 0.001
Versión*Zona	239.40	39.900	6	210	16.32	< 0.001	***	0.014
Versión*Hemisferio	2.59	1.297	2	70	0.61	0.545		< 0.001
Zona*Hemisferio	77.27	25.758	3	105	9.53	< 0.001	***	0.005
Versión*Zona*Hemisferio	2.01	0.335	6	210	0.95	0.459		< 0.001

* = Significativo al nivel 0.05, ** = Significativo al nivel 0.01, *** = Significativo al nivel 0.001

Nota: Los valores p presentados son los generados por la corrección de Greenhouse-Geisser.

Tabla 9.14: Análisis *post hoc* del componente P2 usando como variable de agrupación la versión de la TMV. Análisis de t pareada con corrección de Bonferroni.

Zona	Versiones		gl	t	Media de Dif.	IC 95 % Dif.		p	Sig.	d de Cohen	IC 95 % d	
						Inferior	Superior				Inferior	Superior
Frontal	Cuadrado	vs Control	35	1.37	0.34	-0.16	0.83	0.539		0.22	-0.25	0.71
	Irregular	vs Control	35	3.40	0.68	0.28	1.09	0.005	**	0.56	0.08	1.05
	Irregular	vs Cuadrado	35	1.16	0.35	-0.09	0.79	0.346		0.27	-0.21	0.75
Temporal	Cuadrado	vs Control	35	3.01	1.60	0.52	2.68	0.014	*	0.50	0.02	0.99
	Irregular	vs Control	35	5.73	2.52	1.63	3.41	<0.001	***	0.96	0.45	1.46
	Irregular	vs Cuadrado	35	2.18	0.92	0.06	1.78	0.108		0.36	-0.12	0.84
Parietal	Cuadrado	vs Control	35	6.69	1.30	0.91	1.70	<0.001	***	1.11	0.60	1.63
	Irregular	vs Control	35	8.49	1.38	1.05	1.72	<0.001	***	1.41	0.88	1.95
	Irregular	vs Cuadrado	35	0.53	0.08	-0.23	0.39	≈ 1		0.08	-0.38	0.56
Occipital	Cuadrado	vs Control	35	6.53	3.17	2.19	4.16	<0.001	***	1.08	0.57	1.59
	Irregular	vs Control	35	8.12	3.75	2.81	4.69	<0.001	***	1.35	0.82	1.88
	Irregular	vs Cuadrado	35	1.61	0.58	-0.15	1.30	0.350		0.26	-0.21	0.75

IC = Intervalo de Confianza, * = Significativo al nivel 0.05, ** = Significativo al nivel 0.01, *** = Significativo al nivel 0.001

6.13, $p < 0.001$, $d = 1.02$), Temporal ($t = 6.46$, $p < 0.001$, $d = 1.07$), y Parietal ($t = 3.61$, $p < 0.01$, $d = 0.60$), también se encontraron diferencias significativas entre la zona Parietal y Frontal ($t = 5.48$, $p < 0.001$, $d = 0.91$), pero no entre las zonas Parietal y Temporal ni Frontal y Temporal ($p > 0.05$); en la versión Cuadrado se encontraron diferencias significativas entre la zona Occipital y las zonas Frontal ($t = 8.67$, $p < 0.001$, $d = 1.45$), Temporal ($t = 7.64$, $p < 0.001$, $d = 1.27$), y Parietal ($t = 7.35$, $p < 0.001$, $d =$

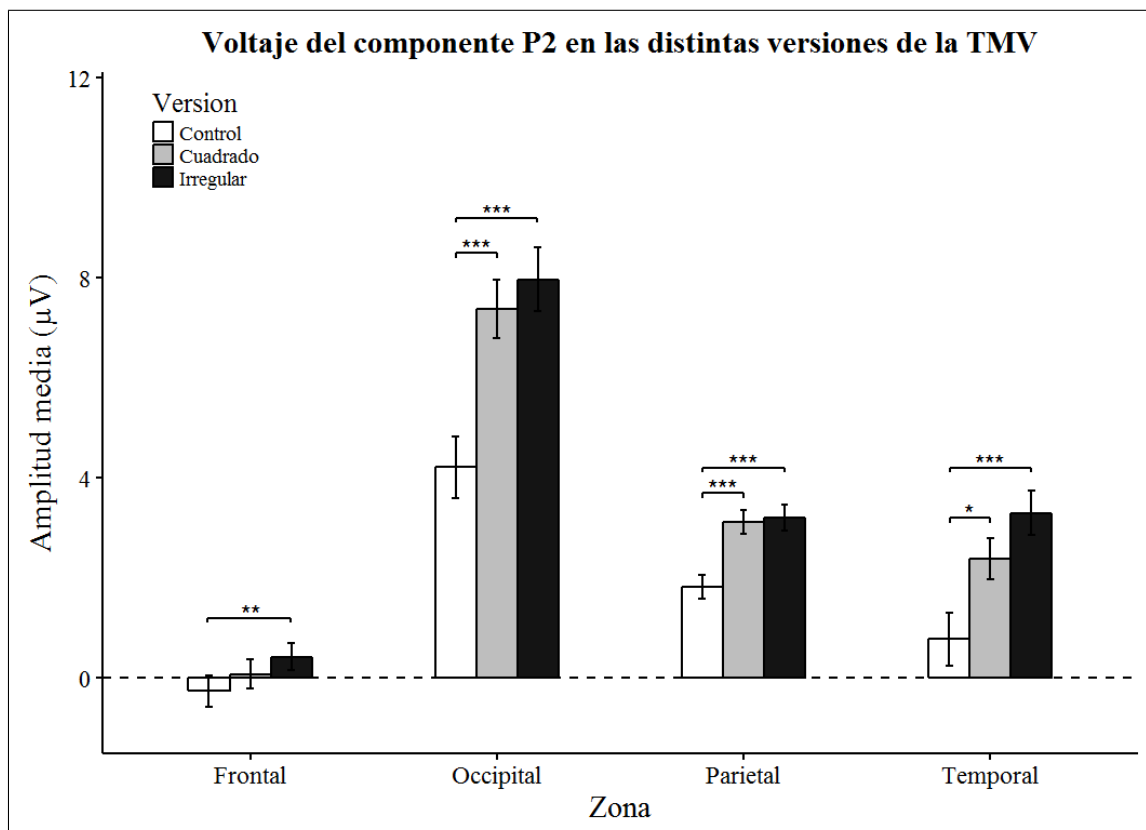


Figura 9.17: Comparación entre la amplitud media del P2 en las Versiones de la TMV. * = Diferencias significativas al nivel $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$.

1.22), así como entre las zonas Parietal y Frontal ($t = 6.88$, $P < 0.001$, $d = 1.15$), pero no se encontraron diferencias significativas entre las zonas Temporal y Frontal ($p > 0.05$); finalmente, en la versión Irregular se encontraron diferencias significativas entre la zona Occipital y las zonas Frontal ($t = 7.54$, $p < 0.001$, $d = 1.39$), Temporal ($t = 8.52$, $p < 0.001$, $d = 1.42$), y Parietal ($t = 7.76$, $p < 0.001$, $d = 1.29$), mientras que la zona Frontal difirió significativamente de las zonas Parietal ($t = 6.14$, $p < 0.001$, $d = 1.02$) y Temporal ($t = 5.66$, $p < 0.001$, $d = 0.94$), no se encontraron diferencias significativas entre las zonas Parietal y Temporal ($p > 0.05$).

Tabla 9.15: Análisis *post hoc* del componente P2 usando como variable de agrupación la zona del cuero cabelludo. Análisis de t pareada con corrección de bonferroni

Versión	Zonas		<i>gl</i>	<i>t</i>	Media de Díf.	IC 95 % Díf.		<i>p</i>	Sig.	<i>d</i> de Cohen	IC 95 % <i>d</i>	
						Inferior	Superior				Inferior	Superior
Control	Occipital	vs Frontal	35	6.13	4.47	2.99	5.95	<0.001	***	1.02	0.51	1.53
	Occipital	vs Temporal	35	6.46	3.43	2.35	4.51	<0.001	***	1.07	0.57	1.58
	Occipital	vs Parietal	35	3.61	2.39	1.05	3.75	0.005	**	0.60	0.11	1.09
	Parietal	vs Frontal	35	5.48	2.07	1.30	2.84	<0.001	***	0.91	0.41	1.41
	Parietal	vs Temporal	35	1.94	1.03	-0.04	2.11	0.363		0.32	-0.15	0.80
	Temporal	vs Frontal	35	2.19	1.03	0.08	1.99	0.208		0.36	-0.11	0.85
Cuadrado	Occipital	vs Frontal	35	8.67	7.31	5.60	9.02	<0.001	***	1.45	0.91	1.98
	Occipital	vs Temporal	35	7.64	5.00	3.68	6.34	<0.001	***	1.27	0.75	1.80
	Occipital	vs Parietal	35	7.35	4.27	3.09	5.45	<0.001	***	1.22	0.70	1.75
	Parietal	vs Frontal	35	6.88	3.04	2.14	3.94	<0.001	***	1.15	0.63	1.66
	Parietal	vs Temporal	35	1.93	0.74	-0.04	1.52	0.370		0.32	-0.16	0.80
	Temporal	vs Frontal	35	5.75	2.30	1.49	3.11	<0.001	***	0.96	0.45	1.46
Irregular	Occipital	vs Frontal	35	8.32	7.54	5.70	9.38	<0.001	***	1.39	0.85	1.92
	Occipital	vs Temporal	35	8.52	4.66	3.55	5.77	<0.001	***	1.42	0.88	1.95
	Occipital	vs Parietal	35	7.76	4.77	3.52	6.01	<0.001	***	1.29	0.77	1.82
	Parietal	vs Frontal	35	6.14	2.77	1.85	3.69	<0.001	***	1.02	0.51	1.53
	Parietal	vs Temporal	35	-0.26	-0.10	-0.91	0.70	≈1		-0.04	-0.52	0.43
	Temporal	vs Frontal	35	5.66	2.87	1.84	3.90	<0.001	***	0.94	0.44	1.45

IC = Intervalo de Confianza, * = Significativo al nivel 0.05, ** = Significativo al nivel 0.01, *** = Significativo al nivel 0.001

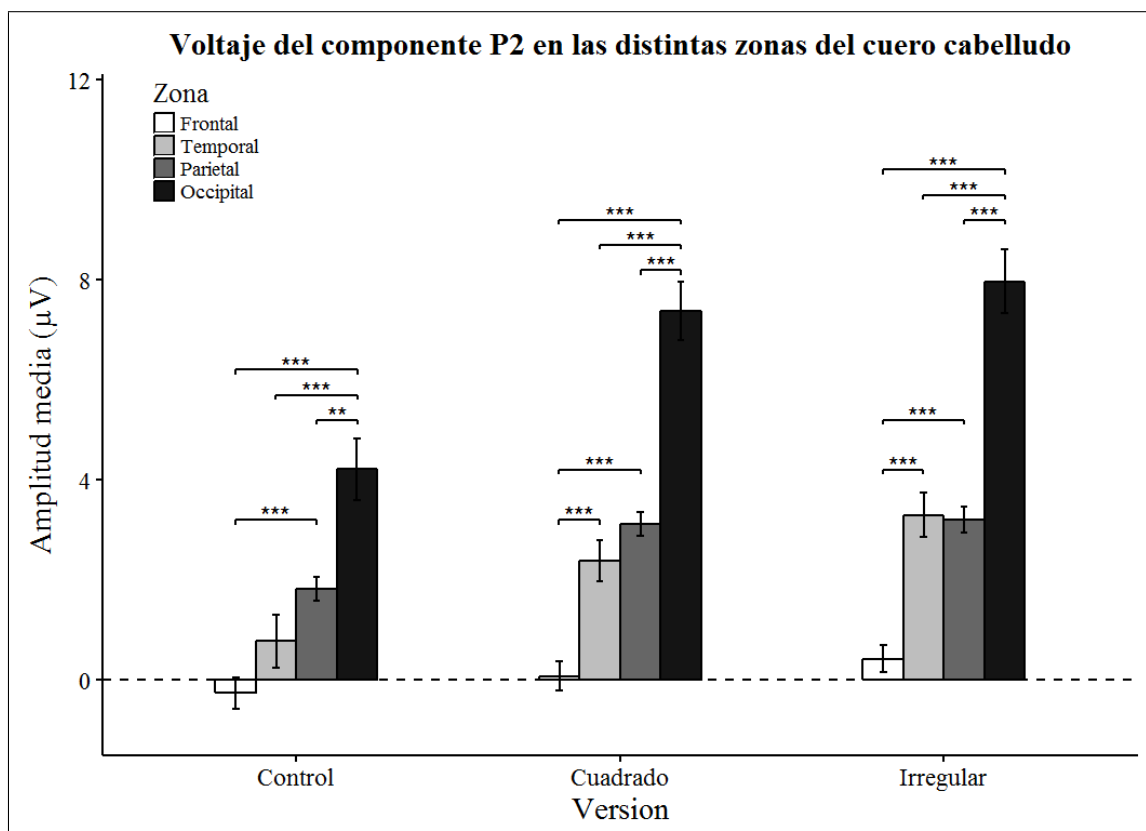


Figura 9.18: Comparación entre la amplitud media del P2 en las Versiones de la TMV. ** = Diferencias significativas al nivel $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$.

P3

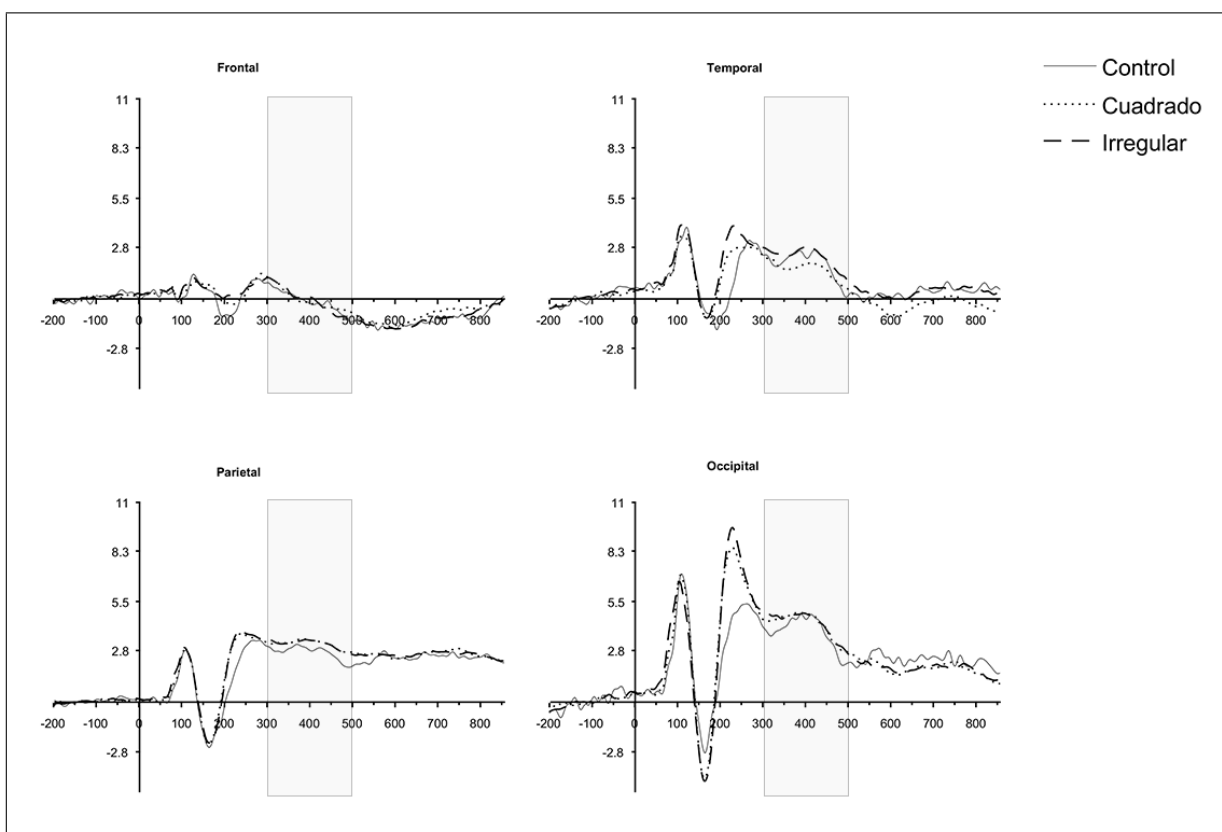


Figura 9.19: Ventana de tiempo para el análisis del P3, las figuras mostradas son los Grandes Promedios de las 4 zonas del cuero cabelludo. La zona sombreada representa la ventana de tiempo (300-500ms.). Se presentan 3 formas de onda, una por cada versión de la TMV: línea continua = versión control, línea punteada = versión cuadrado, línea discontinua = versión irregular.

Un ANOVA de medidas repetidas indicó un efecto significativo de la Zona del cuero cabelludo ($F_{3,105} = 22.15$, $p < 0.001$, $\eta_G^2 = 0.14$), del Hemisferio ($F_{1,35} = 11.76$, $p < 0.01$, $\eta_G^2 = 0.01$). y de la interacción Zona*Hemisferio ($F_{3,105} = 8.56$, $p < 0.01$), no se encontró en efecto significativo de la Versión ($p > 0.05$). Los resultados del análisis se muestran en la tabla 9.9.

El análisis *post-hoc* indicó en el hemisferio izquierdo diferencias significativas entre la zona Frontal y las zonas Occipital ($t = 4.78$, $p < 0.001$, $d = 0.95$), Parietal ($t = 3.05$,

Tabla 9.16: ANOVA de medidas repetidas en la amplitud media (μV) del componente N1 en el periodo de Test

Efecto	Ss	Ms	gl(Factor)	gl(Error)	F	p	Sig.	η_G^2
Versión	16.8	8.39	2	70	0.66	0.495		0.001
Zona	2129	709.70	3	105	22.15	< 0.001	***	0.141
Hemisferio	178.1	178.14	1	35	11.76	0.002	**	0.012
Versión*Zona	19.7	3.280	6	210	1.08	0.370		0.001
Versión*Hemisferio	2.22	1.11	2	70	0.48	0.617		< 0.001
Zona*Hemisferio	121.2	40.39	3	105	8.56	0.002	**	0.008
Versión*Zona*Hemisferio	5.07	0.85	6	210	1.56	0.203		< 0.001

* = Significativo al nivel 0.05, ** = Significativo al nivel 0.01, *** = Significativo al nivel 0.001

Nota: Los valores p presentados son los generados por la corrección de Greenhouse-Geisser.

$p < 0.001$, $d = 0.57$), y Temporal ($t = 4.04$, $p < 0.01$, $d = 0.67$), también se hallaron diferencias significativas entre la zona Temporal y las zonas Occipital () y Parietal (), no se encontraron diferencias significativas entre las zonas Occipital y Parietal ($p > 0.05$). En el hemisferio derecho se encontraron diferencias significativas entre la zona Frontal y las zonas Occipital ($t = 4.58$, $p < 0.001$, $d = 0.76$), Temporal ($t = 5.18$, $p < 0.001$, $d = 0.86$), y Parietal ($t = 5.94$, $p < 0.001$, $d = 0.99$), no se encontraron más diferencias significativas entre zonas ($p > 0.05$); los resultados del análisis se muestran en la tabla 9.17, y en la figura 9.20 puede observarse a detalle la diferencia entre las distintas zonas.

Respecto a las diferencias entre hemisferios, se encontraron diferencias significativas en las zonas Temporal ($t = 5.18$, $p < 0.001$, $d = 0.86$) y Parietal ($t = 4.60$, $p < 0.001$, $d = 0.76$), pero no en la zona Frontal ni Occipital ($p > 0.05$); en la tabla 9.18 se muestran los resultados del análisis, y en la figura 9.21 puede observarse la comparación entre hemisferios para cada zona.

Tabla 9.17: Análisis *post hoc* del componente P3 usando como variable de agrupación la zona del cuero cabelludo en cada hemisferio. Análisis de t pareada con corrección de bonferroni

Hemisferio	Zonas			gl	t	Media de Dif.	IC 95 % Dif.		p	Sig.	d de Cohen	IC 95 % d	
							Inferior	Superior				Inferior	Superior
Izquierdo													
	Occipital	vs	Frontal	35	5.70	4.78	3.08	6.48	<0.001	***	0.95	0.45	1.45
	Occipital	vs	Temporal	35	4.90	3.26	1.91	4.60	<0.001	***	0.82	0.32	1.31
	Occipital	vs	Parietal	35	2.52	1.73	0.34	3.12	0.098		0.42	−0.06	0.90
	Parietal	vs	Frontal	35	6.50	3.05	2.09	4.00	<0.001	***	1.08	0.57	1.59
	Parietal	vs	Temporal	35	4.04	1.53	0.76	2.29	0.002	**	0.67	0.18	1.16
	Temporal	vs	Frontal	35	3.45	1.52	0.63	2.41	0.008	**	0.57	0.08	1.06
Derecho													
	Occipital	vs	Frontal	35	4.58	3.73	2.08	5.39	<0.001	***	0.76	0.27	1.26
	Occipital	vs	Temporal	35	2.16	1.14	0.07	2.23	0.226		0.36	−0.12	0.84
	Occipital	vs	Parietal	35	1.06	0.52	−0.48	1.53	1		0.17	−0.30	0.65
	Parietal	vs	Frontal	35	5.94	3.20	2.11	4.30	<0.001	***	0.99	0.48	1.49
	Parietal	vs	Temporal	35	1.47	0.62	−0.24	1.48	0.902		0.24	−0.23	0.72
	Temporal	vs	Frontal	35	5.18	2.58	1.57	3.59	<0.001	***	0.86	0.36	1.36

IC = Intervalo de Confianza, * = Significativo al nivel 0.05, ** = Significativo al nivel 0.01, *** = Significativo al nivel 0.001

Tabla 9.18: Análisis *post hoc* del componente P3 usando como variable de agrupación el hemisferio en cada zona del cuero cabelludo. Análisis de t pareada con corrección de bonferroni

Zona	Hemisferios			gl	t	Media de Dif.	IC 95 % Dif.		p	Sig.	d de Cohen	IC 95 % d	
							Inferior	Superior				Inferior	Superior
Frontal	Izquierdo	vs	Derecho	35	2.14	0.86	0.04	1.68	0.157		0.36	-0.12	0.83
Temporal	Izquierdo	vs	Derecho	35	5.18	1.92	1.17	2.68	<0.001	***	0.86	0.36	1.36
Parietal	Izquierdo	vs	Derecho	35	4.60	1.02	0.57	1.47	<0.001	***	0.76	0.27	1.26
Occipital	Izquierdo	vs	Derecho	35	-0.41	-0.18	-1.07	0.70	≈1		-0.06	-0.54	0.40

IC = Intervalo de Confianza, * = Significativo al nivel 0.05, ** = Significativo al nivel 0.01, *** = Significativo al nivel 0.001

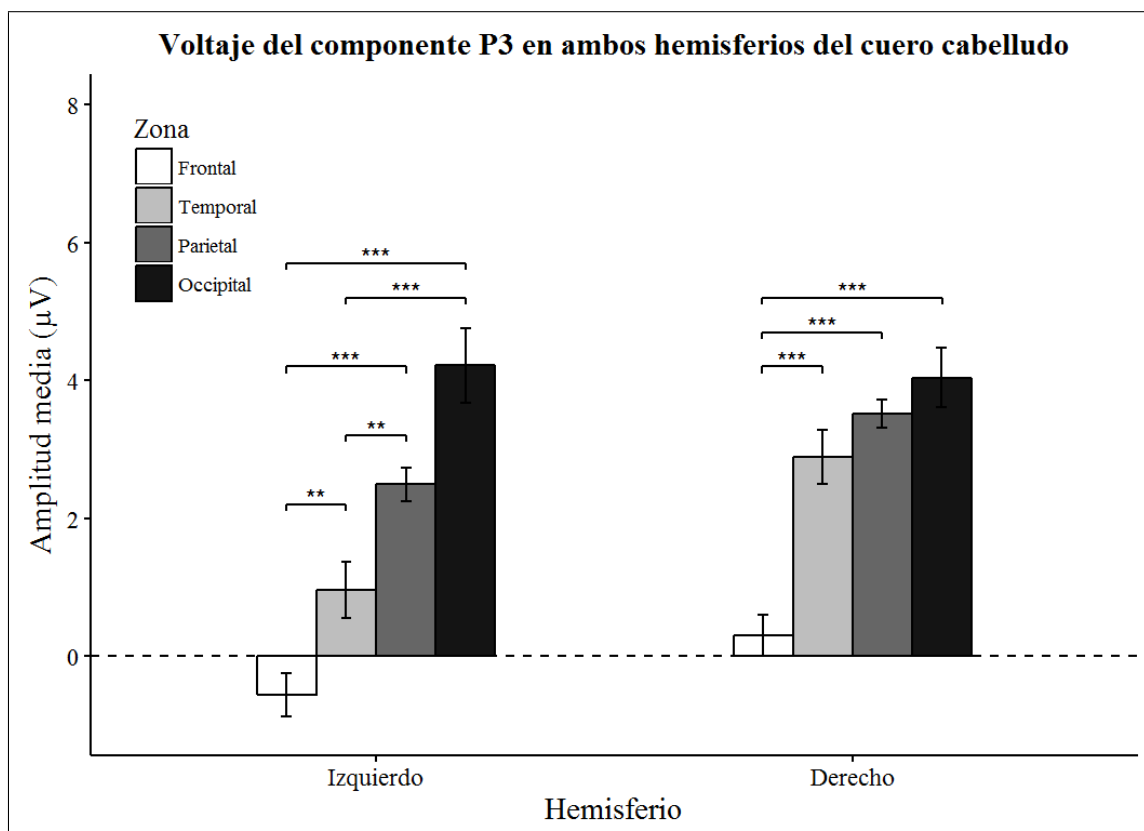


Figura 9.20: Comparación del tamaño del P3 en cada zona del cuero cabelludo, en ambos hemisferios. ** = Diferencias significativas al nivel $p < 0.01$, $p < 0.001$.

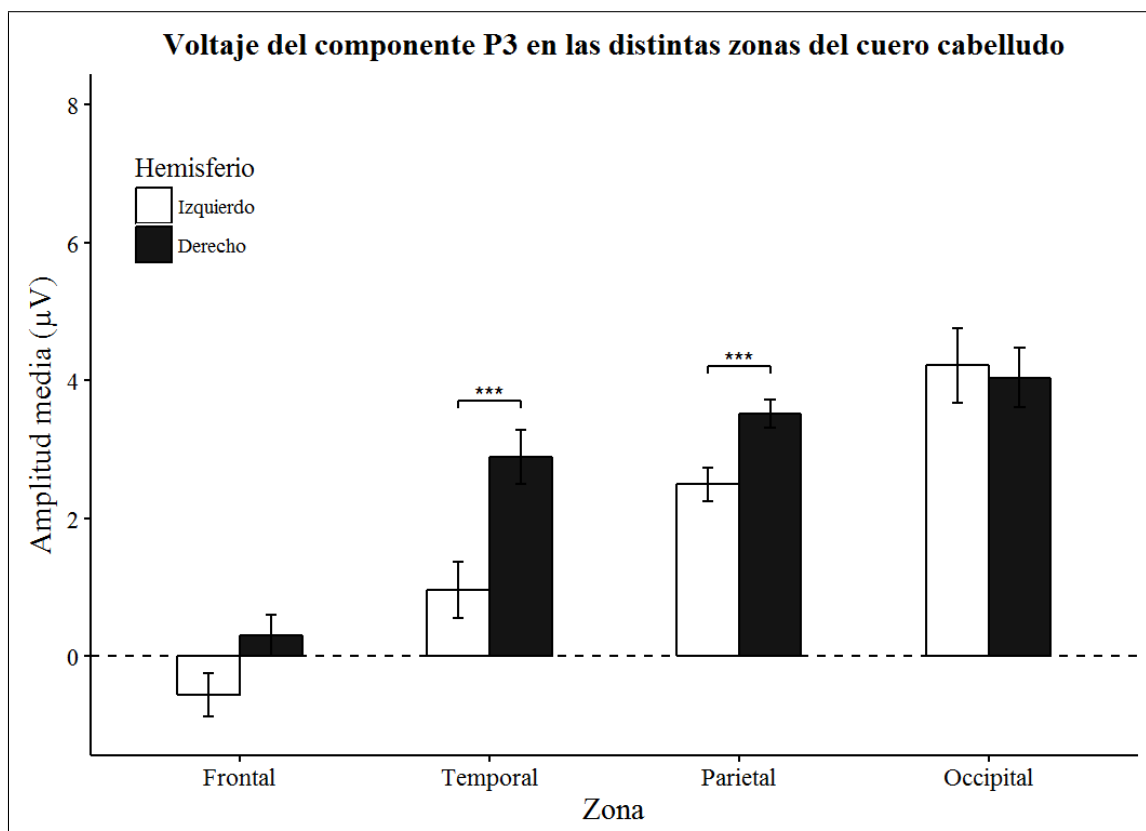


Figura 9.21: Comparación del tamaño del P3 en cada hemisferio, en las distintas zonas del cuero cabelludo. *** = Diferencias significativas al nivel $p < 0.001$.

9.3. Interacción entre resultados conductuales y resultados electrofisiológicos

Se llevó a cabo un análisis de regresión lineal mixta sobre la amplitud del P2, con los factores conductuales Precisión, d' , c , Tiempo de Reacción, y Precisión en la tarea Go/No-Go; así como los factores Versión y Sexo. Este análisis confirmó que el mejor predictor de la amplitud del P2 es la Versión de la TMV ($\chi^2_{(2)} = 93.2$, $p < 0.001$), en comparación con la versión control la versión cuadrado incrementó el voltaje del P2 en $1.6 \mu V \pm 0.22$ (error estándar), y la versión irregular lo incrementó en $2.08 \mu V \pm 0.22$ (error estándar).

El Tiempo de Reacción también fue un predictor significativo ($\chi^2_{(1)} = 8.4$, $p = 0.004$), de tal forma que por cada 100 milisegundos que se acelera el tiempo de reacción, el voltaje del P2 disminuye en $0.64 \mu V \pm 0.22$ (error estándar).

El sexo, la precisión en la TMV, la precisión en la tarea Go/No-Go, d' , y c no fueron predictores significativos del voltaje del P2.

Capítulo 10

Discusión y conclusiones

10.1. Discusión

La manipulación experimental no tuvo efecto sobre las mediciones conductuales de la memoria de trabajo, el ruido visual no incrementó ni disminuyó significativamente la precisión de las respuestas, el tiempo de respuesta, la sensibilidad, ni el sesgo de respuesta. El hecho de la presencia de estimulación adicional no haya resultado disruptiva en la tarea concuerda con la hipótesis sobre la existencia de un mecanismo regulador que permita a los sujetos enfocarse únicamente en los estímulos relevantes. El control inhibitorio no estuvo relacionado con el tiempo de respuesta, la precisión, ni el sesgo, sin embargo sí se encontró una relación entre la sensibilidad al cambio y el control inhibitorio en las condiciones control y cuadrado. Interesantemente, la relación entre sensibilidad y control inhibitorio disminuyó a medida que incrementó el ruido visual, encontrándose la relación más fuerte en la versión control. Esta relación se presentó de manera más débil en la versión cuadrado. Finalmente, en la versión irregular la relación disminuyó lo suficiente como para perder la significancia estadística. Esto podría ser explicado si en las versiones con menor ruido visual un proceso inhibitorio es dedicado a identificar la ausencia de cambio, y en las condiciones con mayor ruido visual este proceso desvía recursos a la tarea de separar los estímulos relevantes de los estímulos irrelevantes. Sin embargo, como se menciona en la sección 9.3, los in-

crementos del voltaje de P2 por la manipulación experimental no son explicados en un modelo lineal por el desempeño en la tarea Go/No-go.

La actividad electrofisiológica observada, se encontró principalmente en regiones posteriores y parietales, lo que concuerda con planteamientos previos que sugieren que el procesamiento sensorial en la memoria de trabajo activa regiones corticales diferentes a aquellas activadas en la memoria de trabajo lingüística, específicamente, el procesamiento respecto a la memoria de trabajo visual es llevado a cabo por zonas occipitales y parietales (Fuster, 2008; Smith et al., 1996).

Respecto al PRE del análisis de esta tesis, se observaron 4 principales deflecciones en la forma de onda, las cuales corresponden a los componentes P1, N1, P2, y P3. Los componentes P1 y N1 han sido asociados con el procesamiento de información en presencia de interferencia (Hillyard et al., 1998), atribuyéndoles las funciones de supresión de ruido, e incremento de la ganancia sensorial respectivamente; sin embargo, la manipulación experimental no tuvo un efecto significativo sobre este par de deflecciones, por lo que en el presente trabajo no podemos confirmar que dichos componentes cumplan la función planteada; de hecho, el único componente que presentó cambios significativos con la manipulación experimental fue el P2. Este componente ha sido asociado con la memoria de trabajo previamente (Dunn, Dunn, Languis, y Andrews, 1998; Lefebvre, Marchand, Eskes, y Connolly, 2005), sin embargo, en esta investigación, el hecho de que no haya tenido una significación estadísticamente con el desempeño en la TMV no nos permite afirmar que refleje procesamiento memorístico. Es posible que refleje procesos de evocación sensorial, mas no de procesamiento cognitivo, sin embargo, la evocación sensorial no explicaría su incremento en las condiciones de ruido visual.

Una hipótesis adicional del P2, es que esta deflección refleje un procesamiento conocido como “top-down” (Freunberger et al., 2007; Linnert, Reid, y Westermann, 2016), en el que el conocimiento previo del contexto en una actividad, funciona como regulador de la atención sensorial ante nueva estimulación dentro del mismo contexto (Wolfe, Butcher, Lee, y Hyle, s.f.). Las características de la actividad, y la forma en la que la

manipulación experimental tuvo un efecto significativo en el P2, representan evidencia a favor de la asociación entre el P2 y el procesamiento top-down.

Otra alternativa, es que este componente refleje un proceso encargado de “filtrar” la información sensorial irrelevante, permitiendo a los sujetos enfocarse en la información relevante. Esta es una posibilidad bastante sólida, sin embargo no nos es posible determinar con certeza qué constructo teórico es al que se le puede atribuir dicha función. Originalmente hipotetizamos que este proceso sería el control inhibitorio, sin embargo el voltaje del P2 no se relacionó con el desempeño en la tarea Go/No-go; debido a esto es posible inferir que se trata de un proceso cognitivo adicional, que pudiera no estar relacionado en absoluto con el control inhibitorio.

Es posible también, que como se ha planteado en el pasado (Lustig et al., 2007) el control inhibitorio podría ser dividido en capacidades diferentes, de tal forma la inhibición cognitiva y la inhibición motora pueden ser funciones separadas. Debido a la naturaleza del paradigma Go/No-go, dicha tarea tiene mayores probabilidades de poner en marcha inhibición motora, por lo que de existir una intervención de la inhibición cognitiva durante la presencia de ruido en tareas de memoria de trabajo, es poco probable que esta intervención sea detectada con nuestro modelo experimental.

10.2. Conclusiones

El desempeño en la memoria de trabajo no se vio afectado por el ruido visual, sin embargo éste desencadenó actividad cerebral adicional, la cual podría ser explicada como un proceso de filtrado para separar la información relevante de la irrelevante. Este estudio aporta evidencia que sugiere que la etapa de procesamiento visual en la que la información relevante es separada de la irrelevante ocurre alrededor de los 200-260 milisegundos. Se necesita mayor evidencia para descartar la posibilidad de que dicho proceso sea el control inhibitorio.

10.3. Proyecciones a futuro

Una de las principales aportaciones de éste trabajo, es el distintivo cambio en el P2 provocado por la manipulación experimental, este potencial rara vez es observado en condiciones experimentales, por lo que el paradigma experimental podría utilizarse a futuro para explorar a detalle sus características.

Es necesario explorar la posible relación entre el control inhibitorio cognitivo y la memoria de trabajo antes de descartar por completo la hipótesis de que el P2 refleja procesos de control inhibitorio.

El presente trabajo no encontró diferencias significativas entre sexos respecto a la actividad electrofisiológica, sin embargo es posible que otras variables demográficas si posean un efecto sobre esta. Estudios a futuro podrían explorar la posibilidad de posibles diferencias en la misma actividad entre personas cuya línea de trabajo requiera gran procesamiento visual (artistas plásticos, fotógrafos) y personas que utilicen procesamiento verbal (escritores, periodistas, académicos).

También es posible que existan diferencias atribuibles al envejecimiento, los participantes del estudio fueron adultos jóvenes (18-28 años), por lo cual no es posible generalizar los resultados a grupos de edades infantiles ni geriátricas; puede darse el caso de que el “filtraje” durante el procesamiento de la memoria de trabajo visual se deteriore con la edad, o bien que sea una habilidad que no se desarrolla por completo sino hasta la adolescencia. En ambos casos la manipulación experimental podría tender un efecto negativo sobre el desempeño.

Referencias

- Agam, Y., y Sekuler, R. (2007, 7). Interactions between working memory and visual perception: An ERP/EEG study. *NeuroImage*, 36(3), 933–942. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1053811907003229> doi: 10.1016/j.neuroimage.2007.04.014
- Ames, S.L., Wong, S.W., Bechara, A., Cappelli, C., Dust, M., Grenard, J.L., y Stacy, A.W. (2014). Neural correlates of a Go/NoGo task with alcohol stimuli in light and heavy young drinkers. *Behavioural Brain Research*, 274, 382–389. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbr.2014.08.039> doi: 10.1016/j.bbr.2014.08.039
- Atkinson, R., y Shiffrin, R. (1968). Human Memory: A Proposed System and its Control Processes. En K.W.Spence y J.T.Spence (Eds.), *Psychology of learning and motivation* (Vol.2, pp. 89–195). New York: Academic Press. doi: 10.1016/S0079-7421(08)60422-3
- Baddeley, A.D. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556–559.
- Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423. doi: 10.1016/S1364-6613(00)01538-2
- Baddeley, A.D., y Hitch, G. (1974). Working Memory. En G.H.Bower (Ed.), *Psychology of learning and motivation* (Vol.8, pp. 47–89). Academic Press. doi: 10.1016/S0079-7421(08)60452-1
- Bird, C.M., y Burgess, N. (2008). The hippocampus and memory: insights from spatial processing. *Nature reviews. Neuroscience*, 9(3), 182–194. doi: 10.1038/nrn2335

- Blinowska, K., y Durka, P. (2006, 4). Electroencephalography (EEG). En *Wiley encyclopedia of biomedical engineering*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. doi: 10.1002/9780471740360.ebs0418
- Carlisle, N.B., Arita, J.T., Pardo, D., y Woodman, G.F. (2011). Attentional templates in visual working memory. *J Neurosci*, 31(25), 9315–9322. Descargado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21697381> doi: 10.1523/JNEUROSCI.1097-11.2011
- Cassel, J.-C., Cassel, D., y Manning, L. (2012, 12). From Augustine of Hippo's Memory Systems to Our Modern Taxonomy in Cognitive Psychology and Neuroscience of Memory: A 16-Century Nap of Intuition before Light of Evidence. *Behavioral Sciences*, 3(1), 21–41. doi: 10.3390/bs3010021
- Collura, T.F. (1993, 10). History and Evolution of Electroencephalographic Instruments and Techniques. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 10(4), 476–504. doi: 10.1097/00004691-199310000-00007
- Conway, A.R.A., Kane, M.J., Bunting, M.F., Hambrick, D.Z., Wilhelm, O., y Engle, R.W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 769–786. doi: 10.3758/BF03196772
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short term memory. A reconsideration of storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(4), 87–186.
- Cowan, N. (2008). Chapter 20 What are the differences between long-term, short-term, and working memory? En V.F.C.Wayne S.Sossin Jean-ClaudeLacaille y S.Belleville (Eds.), *Progress in brain research* (Vol.169, pp. 323–338). Elsevier. doi: 10.1016/S0079-6123(07)00020-9
- Coward, L.A. (2013). *Towards a Theoretical Neuroscience: from Cell Chemistry to Cognition*. Dordrecht: Springer Netherlands. doi: 10.1007/978-94-007-7107-9
- Crosson, B., Ford, A., McGregor, K.M., Meinzer, M., Cheshkov, S., Li, X., ... Briggs, R.W. (2010). Functional imaging and related techniques: an introduction for rehabilitation researchers. *Journal of rehabilitation research and development*, 47(2), vii-xxxiv. doi: 10.1682/JRRD.2010.02.0017

- Delorme, A., y Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134(1), 9–21. doi: 10.1016/j.jneumeth.2003.10.009
- Donchin, E. (1981, 9). Surprise!? Surprise? *Psychophysiology*, 18(5), 493–513. doi: 10.1111/j.1469-8986.1981.tb01815.x
- Donchin, E., Ritter, W., y McCallum, C. (1978). Cognitive psychophysiology: The endogenous components of the ERP. En *Brain event-related potentials in man; new york: Academic press* (p.349 - 441). doi: 10.1016/B978-0-12-155150-6.50019-5
- Dong, S., Reder, L.M., Yao, Y., Liu, Y., y Chen, F. (2015, 8). Individual differences in working memory capacity are reflected in different ERP and EEG patterns to task difficulty. *Brain Research*, 1616, 146–156. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006899315003881> doi: 10.1016/j.brainres.2015.05.003
- Drewe, E.A. (1975). Go - no go learning after frontal lobe lesions in humans. *Cortex*, 11(1), 8–16. doi: 10.1016/S0010-9452(75)80015-3
- Dunn, B.R., Dunn, D.a., Languis, M., y Andrews, D. (1998). The relation of ERP components to complex memory processing. *Brain and cognition*, 36(3), 355–376. doi: 10.1006/brcg.1998.0998
- Dustman, R.E., Boswell, R.S., y Porter, P.B. (1962). Beta Brain Waves as an Index of Alertness. *Science*, 137(14), 533–534.
- Engle, R.W., y Kane, M. (2004). Executive Attention, Working Memory Capacity, and a Two-Factor Theory of Cognitive Control. En *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (pp. 145–199). doi: 10.1016/S0079-7421(03)44005-X
- Finnigan, S., O'Connell, R.G., Cummins, T.D.R., Broughton, M., y Robertson, I.H. (2011). ERP measures indicate both attention and working memory encoding decrements in aging. *Psychophysiology*, 48(5), 601–611. doi: 10.1111/j.1469-8986.2010.01128.x
- Freunberger, R., Klimesch, W., Doppelmayr, M., y Höller, Y. (2007). Visual P2 com-

- ponent is related to theta phase-locking. *Neuroscience Letters*, 426(3), 181–186. doi: 10.1016/j.neulet.2007.08.062
- Fuster, J.M. (2008). *The prefrontal cortex* (4.^a ed.). Amsterdam Boston: Academic Press/Elsevier.
- Gomarus, H.K., Althaus, M., Wijers, A.A., y Minderaa, R.B. (2006, 4). The effects of memory load and stimulus relevance on the EEG during a visual selective memory search task: An ERP and ERD/ERS study. *Clinical Neurophysiology*, 117(4), 871–884. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1388245705005122> doi: 10.1016/j.clinph.2005.12.008
- Handy, T.C. (Ed.). (2005). *Event-Related Potentials: A Methods Handbook* (Vol.67). Cambridge, Mass: MIT Press.
- Hasher, L., Lustig, C., y Zacks, R. (2007). Inhibitory Mechanisms and the Control of Attention. En *Variation in working memory* (pp. 227–249). Oxford University Press. doi: 10.1093/acprof:oso/9780195168648.003.0009
- Heinze, H.J., Mangun, G.R., Burchert, W., Hinrichs, H., Scholz, M., Münte, T.F., ... Hundeshagen, H. (1994). *Combined spatial and temporal imaging of brain activity during visual selective attention in humans*. (Vol.372) (n.º 6506). Descargado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7990926> doi: 10.1038/372543a0
- Herrmann, C.S., y Knight, R.T. (2001). Mechanisms of human attention: Event-related potentials and oscillations. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 25(6), 465–476. doi: 10.1016/S0149-7634(01)00027-6
- Hillyard, S.A., Vogel, E.K., y Luck, S.J. (1998). Sensory gain control (amplification) as a mechanism of selective attention: electrophysiological and neuroimaging evidence. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 353(1373), 1257–1270. doi: 10.1098/rstb.1998.0281
- Jarrold, C., y Towse, J.N. (2006). Individual differences in working memory. *Neuroscience*, 139(1), 39–50. doi: 10.1016/j.neuroscience.2005.07.002
- Jasper, H.H. (1958). Report of the committee on methods of clinical exa-

- mination in electroencephalography. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology Supplement*, 10(2), 370–375. Descargado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10590970> doi: 10.1016/0013-4694(58)90053-1
- Jia, X., y Kohn, A. (2011). Gamma rhythms in the brain. *PLoS Biology*, 9(4). doi: 10.1371/journal.pbio.1001045
- Jones, S.R. (2015). Local Field Potential, Relationship to Electroencephalogram (EEG) and Magnetoencephalogram (MEG). En *Encyclopedia of computational neuroscience* (pp. 1568–1572). New York, NY: Springer New York. doi: 10.1007/978-1-4614-6675-8_727
- Kalita, J., y Misra, U.K. (1998). EEG changes in tuberculous meningitis: A clinico-radiological correlation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 107(1), 39–43. doi: 10.1016/S0013-4694(98)00016-9
- Kandel, E.R., Schwartz, J.E., Jessell, T.M., Siegelbaum, S.A., y Hudspeth, A.J. (2000). *Principles of neural science* (4.^a ed.). McGraw-Hill, Health Professions Division.
- Klados, M.A., Simos, P., Micheloyannis, S., Margulies, D., y Bamidis, P.D. (2015). ERP measures of math anxiety: how math anxiety affects working memory and mental calculation tasks? *Frontiers in behavioral neuroscience*, 9(October), 282. Descargado de <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnbeh.2015.00282/abstract> doi: 10.3389/fnbeh.2015.00282
- Knowles, W.D. (1992). Normal Anatomy and Neurophysiology of the Hippocampal-Formation. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 9(2), 252–263.
- Kursawe, M.A., y Zimmer, H.D. (2015). Costs of storing colour and complex shape in visual working memory: Insights from pupil size and slow waves. *Acta Psychologica*, 158, 67–77. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.actpsy.2015.04.004> doi: 10.1016/j.actpsy.2015.04.004
- Lefebvre, C.D., Marchand, Y., Eskes, G.A., y Connolly, J.F. (2005). Assessment of

- working memory abilities using an event-related brain potential (ERP)-compatible digit span backward task. *Clinical Neurophysiology*, 116(7), 1665–1680. doi: 10.1016/j.clinph.2005.03.015
- Li, D., Christ, S., Johnson, J., y Cowan, N. (2015). Attention and Memory. En A.W.Toga (Ed.), *Brain mapping: An encyclopedic reference* (Vol.3, pp. 275–279). Academic Press: Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-397025-1.00244-X
- Linnert, S., Reid, V., y Westermann, G. (2016, 10). ERP correlates of two separate top-down mechanisms in visual categorization. *International Journal of Psychophysiology*, 108, 83. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167876016303853> doi: 10.1016/j.ijpsycho.2016.07.264
- Logan, G.D., Schachar, R.J., y Tannock, R. (1997). Impulsivity and Inhibitory Control. *Psychological Science*, 8(1), 60–64. Descargado de <http://pss.sagepub.com/content/8/1/60.abstract> doi: 10.1111/j.1467-9280.1997.tb00545.x
- Lopez-Calderon, J., y Luck, S.J. (2014). ERPLAB: An Open-Source Toolbox for the Analysis of Event-Related Potentials. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. doi: 10.3389/fnhum.2014.00213
- Lubin, A., Rossi, S., Lanoë, C., Vidal, J., Houdé, O., y Borst, G. (2016). Expertise, inhibitory control and arithmetic word problems: A negative priming study in mathematics experts. *Learning and Instruction*, 45, 40–48. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959475216300615> doi: 10.1016/j.learninstruc.2016.06.004
- Luck, S.J. (2005a). Chapter 2: The Design and Interpretation of ERP Experiments. En *An introduction to the event-related potential technique* (pp. 51–98). Cambridge, Massachusetts: MIT Press. doi: 10.1118/1.4736938
- Luck, S.J. (2005b). Chapter 4: Averaging, Artifact Rejection, and Artifact Correction. En *An introduction to the event-related potential technique* (Vol.78, p.388). doi: 10.1118/1.4736938

- Luck, S.J. (2005c). An Introduction to Event-Related Potentials and Their Neural Origins. En *An introduction to the event-related potential technique* (pp. 2–50). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Luck, S.J. (2005d). *An introduction to the event-related potential technique*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Luck, S.J., y Hillyard, S.A. (1994, 5). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, 31(3), 291–308. Descargado de <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1469-8986.1994.tb02218.x> doi: 10.1111/j.1469-8986.1994.tb02218.x
- Luck, S.J., y Vogel, E.K. (1997, 11). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279–81. doi: 10.1038/36846
- Luria, R., Sessa, P., Gotler, A., Jolicoeur, P., y Dell'Acqua, R. (2010). Visual short-term memory capacity for simple and complex objects. *Journal of cognitive neuroscience*, 22(3), 496–512. doi: 10.1162/jocn.2009.21214
- Lustig, C., Hasher, L., y Zacks, R.T. (2007). Inhibitory deficit theory: Recent developments in a "new view". En *Inhibition in cognition*. (pp. 145–162). Washington: American Psychological Association. Descargado de <http://content.apa.org/books/11587-008> doi: 10.1037/11587-008
- Markley, C., Luck, S., y Lopez-Calderon, J. (s.f.). *Artifact Detection*. University of California, Davis. Descargado de goo.gl/rguvSX
- May, C.P. (1999). Synchrony effects in cognition: the costs and a benefit. *Psychonomic bulletin & review*, 6(1), 142–147. doi: 10.3758/BF03210822
- Milner, B., Squire, L.R., y Kandel, E.R. (1998). Cognitive Neuroscience Review and the Study of Memory. *Neuron*, 20, 445–468. doi: 10.1016/S0896-6273(00)80987-3
- Oberauer, K., y Eichenberger, S. (2013). Visual working memory declines when more features must be remembered for each object. *Memory & cognition*, 41(8), 1212–27. Descargado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23716004> doi: 10.3758/s13421-013-0333-6
- Oberauer, K., Süß, H.M., Schulze, R., Wilhelm, O., y Wittmann, W.W. (2000). Wor-

- king memory capacity — facets of a cognitive ability construct. *Personality and Individual Differences*, 29(6), 1017–1045. doi: 10.1016/S0191-8869(99)00251-2
- Penfield, W., y Milner, B. (1958, 5). Memory Deficit Produced by Bilateral Lesions in the Hippocampal Zone. *Archives of Neurology And Psychiatry*, 79(5), 475. doi: 10.1001/archneurpsyc.1958.02340050003001
- Picton, T.W. (1992, 10). The P300 Wave of the Human Event-Related Potential. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 9(4), 456–479. doi: 10.1097/00004691-199210000-00002
- Preacher, K.J., Rucker, D.D., MacCallum, R.C., y Nicewander, W.A. (2005). Use of the Extreme Groups Approach: A Critical Reexamination and New Recommendations. *Psychological Methods*, 10(2), 178–192. doi: 10.1037/1082-989X.10.2.178
- R Core Team. (2016). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria. Descargado de <https://www.r-project.org/>
- Redick, T.S., Calvo, A., Gay, C.E., y Engle, R.W. (2011). Working memory capacity and go/no-go task performance: selective effects of updating, maintenance, and inhibition. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 37(2), 308–324. doi: 10.1037/a0022216
- Repovš, G., y Baddeley, A.D. (2006). The multi-component model of working memory: Explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 139(1), 5–21. doi: 10.1016/j.neuroscience.2005.12.061
- Rugg, M.D., y Coles, M.G. (1995). *Electrophysiology of mind: Event-related brain potentials and cognition*. New York: Oxford University Press.
- Sarter, M., Givens, B., y Bruno, J.P. (2001). *The cognitive neuroscience of sustained attention: Where top-down meets bottom-up*. doi: 10.1016/S0165-0173(01)00044-3
- Schacter, D.L., y Tulving, E. (1994). *Memory systems 1994*. Mit Press.
- Schneider, W., Eschman, A., y Zuccolotto, A. (2002). *E-Prime: User's guide*. Psychology Software Incorporated.

- Smith, E.E., Jonides, J., y Koeppe, R.A. (1996, 1). Dissociating Verbal and Spatial Working Memory Using PET. *Cerebral Cortex*, 6(1), 11–20. Descargado de <http://cercor.oxfordjournals.org/cgi/content/long/6/1/11> doi: 10.1093/cercor/6.1.11
- Squire, L.R. (2009, 1). The Legacy of Patient H.M. for Neuroscience. *Neuron*, 61(1), 6–9. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0896627308010957> doi: 10.1016/j.neuron.2008.12.023
- Stanislaw, H., y Todorov, N. (1999, 3). Calculation of signal detection theory measures. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 31(1), 137–149. Descargado de <http://dx.doi.org/10.3758/BF03207704> <http://www.springerlink.com/index/10.3758/BF03207704> doi: 10.3758/BF03207704
- Steck, A., y Steck, B. (2016). *Brain and Mind*. Cham: Springer International Publishing. Descargado de <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-21287-6> doi: 10.1007/978-3-319-21287-6
- Talsma, D., y Woldorff, M.G. (2005). 6 Methods for the Estimation and Removal of Artifacts and Overlap. En T.C.Handy (Ed.), *Event-related potentials: A methods handbook* (p.115). MIT Press.
- Teplan, M. (2002). Fundamentals of EEG measurement. *Measurement Science Review*, 2, 1–11. doi: 10.1021/pr070350l
- Tokudome, W., y Wang, G. (2012, 1). Similarity dependency of the change in ERP component N1 accompanying with the object recognition learning. *International Journal of Psychophysiology*, 83(1), 102–109. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167876011003321> doi: 10.1016/j.ijpsycho.2011.10.012
- Tulving, E. (1985). How many memory systems are there? *American Psychologist*, 40, 385–398. doi: 10.1037/0003-066X.40.4.385
- Unsworth, N., y Engle, R.W. (2007). The nature of individual differences in working

memory capacity: Active maintenance in primary memory and controlled search from secondary memory. *Psychological Review*, 114(1), 104–132. Descargado de <http://doi.apa.org/getdoi.cfm?doi=10.1037/0033-295X.114.1.104> doi: 10.1037/0033-295X.114.1.104

Vogel, E.K., y Machizawa, M.G. (2004, 4). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428(6984), 748–751. doi: 10.1038/nature02447

Widmann, A., Schröger, E., y Maess, B. (2015, 7). Digital filter design for electrophysiological data – a practical approach. *Journal of Neuroscience Methods*, 250, 34–46. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.jneumeth.2014.08.002> <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165027014002866> doi: 10.1016/j.jneumeth.2014.08.002

Wieser, H.G., Schindler, K., y Zumsteg, D. (2006). EEG in Creutzfeldt-Jakob disease. *Clinical Neurophysiology*, 117(5), 935–951. doi: 10.1016/j.clinph.2005.12.007

Wolfe, J.M., Butcher, S.J., Lee, C., y Hyle, M. (s.f.). Changing Your Mind: On the Contributions of Top-Down and Bottom-Up Guidance in Visual Search for Feature Singletons.
doi: 10.1037/0096-1523.29.2.483

Yang, S., Zhang, S., y Wang, Q. (2016). P2 and behavioral effects of stroke count in Chinese characters: Evidence for an analytic and attentional view. *Neuroscience Letters*, 628, 123–127. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.neulet.2016.06.006> doi: 10.1016/j.neulet.2016.06.006

Appendices

Apéndice A

Consentimiento informado

	MTV&IN_EEG Consentimiento Informado					
Propósito y procedimiento experimental						
El propósito del presente experimento es explorar la manifestación electrofisiológica de los procesos cognitivos activados durante la tarea. El experimento está conformado por 4 partes, cada una con una duración de aproximadamente 10 minutos, durante las cuales se le pedirá que realice actividades en una computadora. Es importante mencionar, que ninguna de las actividades es una prueba de sus habilidades o inteligencia personal. El objetivo del experimento es explorar la forma en la que las actividades evocan y afectan la manifestación de procesos cognitivos. Los responsables del experimento son: Héctor Alejandro Cepeda Freyre y el Dr. Gregorio García Aguilar, alumno y profesor de la Facultad de Psicología BUAP, respectivamente.						
Confidencialidad						
La siguiente información será recopilada durante el experimento: • Edad • Sexo • Mano de mayor utilización (Diestro o Zurdo) • Respuestas en las actividades • Registro electroencefalográfico En ningún momento se le pedirá que revele información personal. Todos los datos recopilados serán codificados de tal manera que su anonimato será protegido en todas las publicaciones científicas o presentaciones resultantes de este trabajo.						
Consentimiento firmado						
Su firma debajo indica que usted ha entendido la información respecto al experimento MTV&IN_EEG y proporciona el consentimiento de su participación y la utilización de los datos obtenidos de la misma. La participación es voluntaria y usted puede rehusarse a continuar participando en el estudio en cualquier momento, sin penalización alguna. Este documento no es una renuncia a sus derechos legales. Usted puede solicitar una copia de este documento para su registro personal.						
<table border="0" style="width: 100%;"><tr><td style="width: 50%; text-align: center;">_____ Voluntario # ____</td><td style="width: 50%; text-align: center;">_____ Fecha</td></tr><tr><td style="width: 50%; text-align: center;">_____ Investigador</td><td style="width: 50%; text-align: center;">_____ Fecha</td></tr></table>			_____ Voluntario # ____	_____ Fecha	_____ Investigador	_____ Fecha
_____ Voluntario # ____	_____ Fecha					
_____ Investigador	_____ Fecha					