



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN PSICOLOGÍA
NEUROCIENCIAS DE LA CONDUCTA

Correlatos electrofisiológicos de la recuperación de la memoria episódica

Tesis

Que para optar por el grado de doctor en psicología

Presenta:

Lic. Ulises Caballero Sánchez

Tutora principal

Dra. Alejandra Evelyn Ruiz Contreras
Facultad de Psicología, UNAM

Tutor adjunto

Dr. Juan Felipe Silva Pereyra
FES Iztacala, UNAM

Tutora externa

Dra. Sandra Romero Hidalgo
INMEGEN

Miembros del jurado

Jurado A: Dr. Mario Arturo Rodríguez Camacho
FES Iztacala, UNAM

Jurado B: Dra. María de la Cruz Bernarda Téllez Alanís
Centro de Investigación Transdisciplinar en Psicología, UAEM

Ciudad Universitaria, CD. MX, marzo 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada (CVU: 771574) durante la realización de esta investigación.

Investigación realizada gracias al Programa UNAM-PAPIIT IN217221

Índice

Abreviaturas	5
Glosario.....	6
Resumen.....	8
1. Introducción	9
2. Antecedentes	12
2.1 Memoria episódica: Definición y elementos	12
2.1.1 Fases de la memoria: Codificación, mantenimiento y recuperación	13
2.1.2 Medición de la memoria episódica	16
2.1.3 Reconocimiento de información: familiaridad y recuerdo.....	21
2.2 Neurofisiología de la memoria episódica.....	25
2.2.1 Áreas asociadas a la recuperación de información de la memoria episódica	25
2.2.2 Potenciales relacionados a eventos (PREs) y memoria episódica.....	29
2.2.2.1 PRE y recuperación.....	30
2.2.2.3 Banda theta y recuperación de información.....	35
3. Planteamiento del problema	42
4. Pregunta de investigación.....	42
5. Hipótesis	42
6. Objetivos	43
6.1. Objetivo general.....	43
6.2. Objetivos específicos	43
7. Método	43
7.1 Participantes	43
7.2 Instrumentos.....	44
7.3 Estímulos.....	46
7.3.1 Selección de estímulos.....	47
7.4 Tarea de memoria episódica	48
7.4.1 Tarea de práctica	51
7.5 Registro de EEG y análisis.....	52
7.6 Procedimiento	53
7.7 Análisis estadísticos.....	54

7.7.1. Datos conductuales.....	54
7.8.2. Análisis de los PRE	54
7.8.2.1 Selección de ventanas temporales para PRE y banda theta.....	54
7.8.2.3 Análisis de theta.....	57
8. Resultados.....	58
8.1 Resultados conductuales.....	58
8.2 Resultados electroencefalográficos.....	61
8.2.1 PREs en función del tipo de recuerdo	61
8.3 Resultados de la banda theta.....	66
9. Discusión	68
9.1 N200, P300, y el recuerdo de los contextos	69
9.2 Componentes tardíos: FN400 y LPC	70
9.3 Banda theta y recuperación de memoria episódica.....	73
9.4 Limitaciones.....	74
10. Conclusión	74
11. Referencias	75
12. Anexos.....	88

Abreviaturas

ROC	Característica operativa del receptor.
LPC	Componente positivo tardío.
FN400	Componente frontal negativo.
ESM	Efecto subsecuente de memoria.
EEM	Error estándar de la media.
RED	Experiencia de recuperación y decisión.
IDB	Inventario de depresión de Beck
IAB	Inventario de ansiedad de Beck
DPSD	Modelo de detección de señales por proceso dual.
SAM	Maniquí de autoevaluación.
PREs	Potenciales relacionados a eventos.
RMf	Resonancia magnética funcional.

Glosario

Acierto. Identificar información vieja de forma correcta.

Almacenamiento. Se refiere a la retención de información adquirida durante la codificación.

Codificación. Es el primer paso durante el proceso de la memoria, y se refiere a la adquisición de información.

Contexto. Información que puede ser codificada incidentalmente cuando un objeto se memoriza.

Efecto subsecuente de memoria. Son las diferencias durante la codificación entre eventos que posteriormente pueden ser recuperados y los que no.

Error. Fallo en la recuperación de información vieja.

Estímulo. Cualquier cosa que provoque una respuesta (e.g., una imagen).

Falsas alarmas. Fallo en la identificación de información nueva.

Familiaridad. Proceso implicado en el reconocimiento de información a través de la fuerza de memoria, que no necesita (aunque no lo excluye) del recuerdo de información contextual.

FN400. Componente negativo asociado al proceso de familiaridad que aparece en la región frontal de los 300 a los 500 ms aproximadamente.

LPC. Componente positivo tardío asociado al proceso de recordar que aparece típicamente en regiones parietales de los 500 a los 700 ms aproximadamente.

Memoria episódica. Capacidad de codificar, almacenar y recuperar información con un contexto temporal y espacial.

Potenciales relacionados a eventos. Técnica derivada de la electroencefalografía, en la que se evalúa la actividad eléctrica cerebral asociada al procesamiento de un estímulo con una temporalidad y topografía específica.

Rechazos correctos. Identificación correcta de información nueva.

Recordar. Recuperación de información incluyendo detalles específicos de un evento (i.e., contexto).

Unificación. Tomar al contexto y al objeto como sólo una unidad.

Resumen

La memoria episódica implica recordar eventos dentro de un contexto temporal y espacial (i.e., el qué, el dónde y el cuándo). El estudio de la actividad eléctrica cerebral asociada a la recuperación de la memoria episódica ha mostrado que hay diferencias en los Potenciales Relacionados a Eventos (PREs) cuando se recupera al menos parte de la información episódica en comparación a cuando se identifica objetos nuevos. Además, la banda theta del EEG se ha asociado a procesos de recuperación de información. Se ha observado que la amplitud (e.g., sincronización) de la banda theta es mayor cuando se recupera información episódica (i.e., qué + contexto) en comparación a cuando no (identificar información nueva). Tanto para los PREs, como para theta, se desconoce qué ocurre cuando se recuperan los tres principales elementos de la memoria episódica: el qué, dónde y cuándo. El objetivo de esta investigación fue explorar la actividad eléctrica cerebral (mediante PREs y theta) asociada a la recuperación de los tres componentes principales de la memoria episódica, por medio de PREs y la amplitud de theta, a través de un paradigma que demandaba codificar y recuperar información del objeto, así como de su contexto temporal y espacial. Se encontró que N200 y P300, así como la sincronización de theta se modificaron en función del número de elementos episódicos que se recuperaban. Además, los componentes típicamente asociados a la memoria episódica, LPC y FN400, modificaron su amplitud cuando se recuperaba al menos un contexto en comparación a la identificación de objetos nuevos; sin embargo, no mostraron diferencias de amplitud entre la recuperación de uno (i.e., espacial) vs. la recuperación de los dos contextos (i.e., espacial y temporal). Los resultados encontrados sugieren que la recuperación del qué, dónde y cuándo se asocia con procesos atencionales, de familiaridad y de recuerdo.

Palabras clave: Memoria episódica; Potenciales relacionados a eventos; Recuperación; Contexto temporal, Contexto espacial; theta

1. Introducción

La memoria episódica se refiere a la capacidad para recordar información personal dentro de un contexto temporal y espacial (i.e., qué, dónde y cuándo ocurrió un evento; Holland and Smulders, 2011). Una forma en que experimentalmente se puede estudiar a la memoria episódica es mediante el análisis de la recuperación de información con Potenciales Relacionados con Eventos (PREs). Los PREs son una técnica que permite identificar la actividad eléctrica asociada al procesamiento de información con una topografía específica, en un momento determinado, asociada al procesamiento de información (Luck, 2014). Con esta técnica, se ha podido saber que hay un voltaje más positivo en regiones frontales, parietales y occipitales del cerebro cuando se recupera información del contexto en comparación a cuando no (Estrada-Manilla & Cansino, 2012).

Se han encontrado diferentes marcadores electrofisiológicos, como de los PREs y marcadores electroencefalográficos, asociados a la recuperación de información episódica. Algunos de los marcadores más conocidos son los componentes FN400 y LPC. El primero es un componente negativo encontrado en electrodos frontales entre los 300 a los 500 ms. El componente FN400 tiene menor amplitud cuando se recupera el contexto temporal en comparación a cuando se identifican correctamente estímulos nuevos (Curran & Friedman, 2004; Trott, Friedman, Ritter, Fabiani, & Snodgrass, 1999). Por otra parte, se ha encontrado un componente positivo tardío (LPC, por sus siglas en inglés) en electrodos parietales (Düzel et al., 2001). El LPC incrementa su amplitud cuando se recupera el contexto temporal o el espacial, evaluados de forma independiente, en comparación con la

identificación correcta de información nueva (Addante, Ranganath, Olichney, & Yonelinas, 2012; Mollison & Curran, 2012; Trott, Friedman, Ritter, Fabiani, & Snodgrass, 1999). Sin embargo, para ambos marcadores, se desconoce qué efecto tendría recordar el contexto tanto temporal como espacial.

El FN400 y LPC se han considerado índices de familiaridad y recuerdo, respectivamente (Curran, 2000). La familiaridad y el recuerdo se han propuesto como procesos que explican el reconocimiento de información episódica (Yonelinas et al., 2010). Por un lado, la familiaridad se refiere a reconocer información por la sensación de haberla percibido anteriormente, sin necesidad de recordar detalles (i.e., contexto); por otro lado, el recuerdo se refiere a reconocer información, trayendo a la memoria detalles contextuales. Dado los antecedentes previamente descritos, la recuperación de información episódica involucra ambos procesos.

La amplitud de componentes tempranos de los PREs también se modifica en función de qué información se recupere (Cansino & Trejo-Morales, 2008). Específicamente, la amplitud asociada a la recuperación del contexto espacial disminuye en comparación con la identificación correcta de información nueva en un componente que va desde los 150 a los 250 ms (Cansino & Trejo-Morales, 2008). Este antecedente sugiere que los procesos atencionales también participan en la recuperación de memoria episódica.

Otra forma de analizar la actividad eléctrica cerebral es a través del análisis de las bandas de frecuencia del electroencefalograma (EEG). Específicamente, la banda theta muestra una mayor amplitud positiva (e.g., en algunas investigaciones se le conoce como sincronización) cuando se recuerda información dentro de un contexto específico en comparación a cuando sólo se recupera sólo el estímulo

(Guderian & Düzel, 2005; Roberts et al., 2018). Este hecho sugiere que la banda theta es sensible al proceso de recuerdo, de forma similar a como lo es el componente LPC.

Las personas normalmente están expuestas a ambos contextos, temporal y espacial, aunque no siempre puedan recuperar ambos. Una de las limitaciones en los estudios mencionados es que no se evalúan eventos que estén inmersos en ambos contextos. Por lo que esta investigación tiene como objetivo evaluar los PREs y la actividad theta mientras se recuperan los principales elementos de la memoria episódica: el qué, dónde y cuándo.

2. Antecedentes

2.1 Memoria episódica: Definición y elementos

La memoria puede definirse como la capacidad de codificar, mantener y recuperar información (Tulving, 2000). La memoria no es una entidad única pues existen distintos sistemas de memoria (Squire & Dede, 2015). Una de las clasificaciones de la memoria puede observarse en la Figura 1. En esta clasificación, la memoria puede dividirse en declarativa y no declarativa. Mientras que la memoria no declarativa o de procedimiento se refiere a la información basada en habilidades (e. g., andar en bicicleta), la memoria declarativa es el conocimiento disponible que puede ser recordado como una idea, sonido, imagen o palabra (Squire & Dede, 2015).

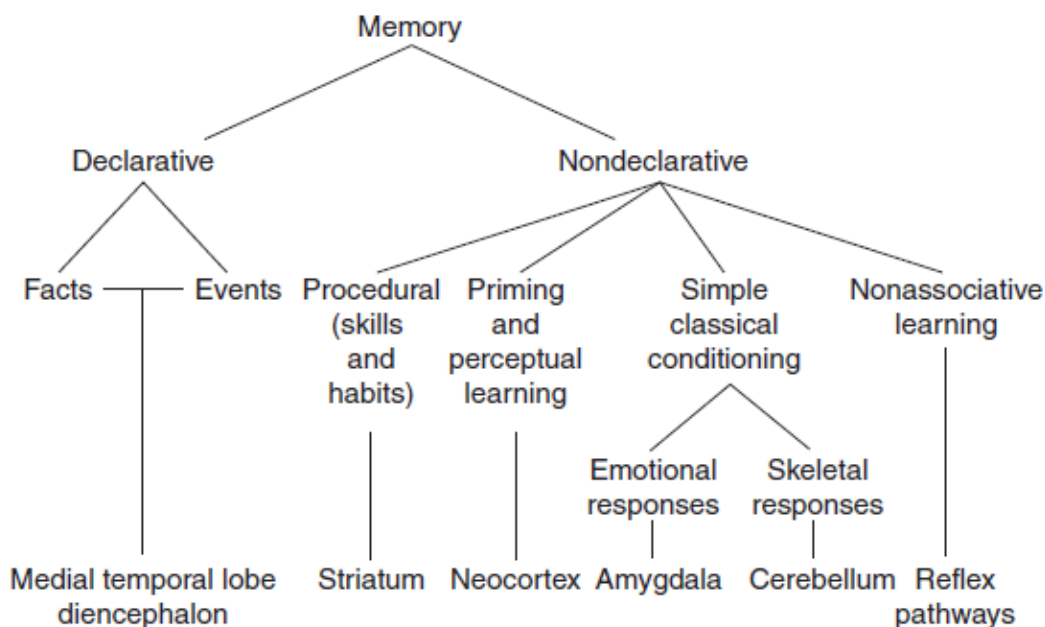


Figura 1. Se muestran una clasificación de tipos de memoria, así como algunas estructuras cerebrales que participan en ellos. Tomado de: (Squire & Dede, 2015).

La memoria declarativa se puede dividir a su vez en semántica y episódica.

La memoria semántica implica el recuerdo de hechos del mundo sin un contexto

particular. La memoria episódica implica el trasladarse mentalmente a una experiencia personal, es decir, recordar cuándo y dónde ocurrió (Gardiner, 2002; Tulving, 1972, 1985). Además, la memoria episódica se refiere al pasado propio de la persona, su referente es autobiográfico (Tulving, 1972).

De acuerdo con la clasificación propuesta por Squire (Squire & Zola-Morgan, 1991), la memoria episódica es un tipo de memoria a largo plazo. Sin embargo, Conway (Conway, 2001) propone una distinción entre recordar experiencias recientes (memoria episódica) y la acumulación de recuerdos de experiencias a largo plazo (memoria autobiográfica). Otra propuesta es que se clasifique a la memoria en función del tipo de información que maneje o la habilidad para regular la recuperación de información, por ejemplo, si sucede de forma automática o voluntaria (Wheeler, 2000).

Desde cualquier perspectiva, la memoria episódica nos permite recordar información de nuestras propias experiencias, lo cual a su vez nos permite construir un sentido de individualidad al reconocer nuestra propia historia.

2.1.1 Fases de la memoria: Codificación, mantenimiento y recuperación

En la memoria pueden reconocerse tres procesos básicos o fases: la codificación, el mantenimiento y la recuperación. La codificación permite adquirir información (Brown & Craik, 2000) que puede ser retenida (almacenamiento; Sternberg, 2010). Una vez que la información está codificada y almacenada, puede ser recuperada (Brown & Craik, 2000; Roediger, Dudai, & Fitzpatrick, 2007).

Es posible codificar recuerdos en muchas dimensiones, por ejemplo, con un código análogo a las características físicas del estímulo (Mayes & Roberts, 2002) o con un código simbólico que nos dé una descripción verbal del estímulo (Brown &

Craik, 2000). Hay factores internos y externos que favorecen a la codificación. Entre los internos, están la motivación y tipos de estrategias (e.g., generar claves propias de recuperación); entre los externos, está el contexto (e.g., codificar información en diversos contextos; Sternberg, 2010). La forma en la que se realiza la adquisición de información también influye en la codificación; la codificación es más eficiente cuando se pide al participante que asocie la información que adquirirá con información adquirida previamente (e.g., clasificar el estímulo de acuerdo a su tamaño o significado) que cuando sólo se atiende a una característica física del estímulo (e.g., determinar la letra con la que comienza una palabra; Sternberg, 2010).

La recuperación exitosa depende de la codificación inicial (Rugg & Wilding, 2000). A su vez, la evaluación de la codificación se verifica a través de la recuperación; la codificación puede ser clasificada como exitosa cuando el evento codificado puede ser recuperado posteriormente. Con base en ello, se ha observado un fenómeno llamado “efecto subsecuente de memoria” (de ahora en adelante ESM; también conocido como diferencias debidas a la memoria o *differences due to memory* en inglés). El ESM se observa en las diferencias durante la codificación de eventos que pueden ser recordados vs. los que no pueden ser recordados posteriormente, en comparación con la codificación de eventos que no pueden ser recordados. Esto significa que la codificación tiene un efecto en el recuerdo posterior de un evento. Las diferencias durante la codificación pueden ser observados a través de técnicas como RMf (Resonancia Magnética funcional; Dickerson et al., 2007) o PREs (Potenciales Relacionados a Eventos; Estrada-Manilla & Cansino, 2012).

Una vez que la codificación permite la adquisición de información, esta puede almacenarse. El almacenamiento de la memoria es el establecimiento de nuevas representaciones en la memoria a largo plazo (Squire & Wixted, 2011). El almacenamiento de la memoria se distribuye a distintas áreas de la neocorteza, pero esas áreas mantienen diferentes características del evento (Squire & Wixted, 2011). El acceso a la información almacenada se conoce como recuperación (Roediger et al., 2007).

De acuerdo a Ben-Yakov et al., (Ben-yakov et al., 2015) la recuperación es el uso de la información aprendida. La recuperación es indispensable para entender y estudiar la memoria. Por ejemplo, no se podría detectar la codificación una vez que finaliza, sino es a través de la recuperación; por medio de la recuperación es que tenemos la prueba de que la codificación sucedió (Ben-yakov et al., 2015).

En cuanto a la recuperación de información declarativa, pueden distinguirse dos formas de evaluarla: recuerdo y reconocimiento (Ben-yakov et al., 2015). El primero se refiere a que la persona evaluada tiene que reconstruir o reactivar la información en ausencia del estímulo (e.g., contarle a alguien cómo fue tu graduación); mientras que el reconocimiento, es juzgar si ocurrió previamente algún evento ante la presencia parcial o total del estímulo (e.g., reconocer qué ropa llevaste el día de tu graduación al observar una fotografía) (Ben-yakov et al., 2015). Estas formas de evaluar a la recuperación de información serán retomadas en los paradigmas descritos en la siguiente sección; mientras que los mecanismos subyacentes a estos tipos de recuperación serán abordados en la sección 2.1.3.

2.1.2 Medición de la memoria episódica

La mayor parte de las pruebas conductuales para evaluar la memoria episódica tienen dos fases: en la primera se les pide a los participantes que aprendan cierta información (codificación); en la segunda fase (recuperación) se pone a prueba si pueden acceder a la información aprendida en la primera fase.

En algunos casos, la evaluación de memoria episódica proviene de algunas sub-pruebas de baterías psicológicas entre las que se incluyen (Humphreys et al., 2010; Tulving, 2000):

1. Pruebas de “recuerdo libre”. En estas pruebas se presentan una serie de estímulos en la fase de codificación (e.g., palabras) y después, en la fase de recuperación, los participantes tienen que mencionar los estímulos que recuerden, sin importar el orden.
2. Pruebas de reconocimiento (paradigma viejo/nuevo, ver más adelante).
3. Pruebas de asociación. Consiste en aprenderse una serie de pares de palabras. Posteriormente, en la recuperación, al participante se le proporciona una de las palabras para que recupere su par.

Humphreys et al. (2010) construyeron una batería de pruebas para medir memoria episódica, basándose en las pruebas anteriormente descritas. Esta batería está dirigida tanto para detectar casos clínicos, como para investigaciones en neurociencias (Humphreys et al., 2010). Algo de lo que carece dicha batería de Humphreys es que no evalúa el contexto en el que se aprendió la información; algo relevante, de acuerdo con la definición de memoria episódica que describí anteriormente.

Las pruebas de “recuerdo serial” y con “clave” también evalúan memoria episódica. La primera consiste en presentar una serie de estímulos (i.e., codificación) para después pedir al participante que mencione todos los estímulos en el orden exacto (i.e., recuperación). La codificación en las pruebas con clave es similar a la de recuerdo serial, sin embargo, en la recuperación de las pruebas con clave se le pide a los participantes recordar los estímulos a partir de claves, por ejemplo, una categoría semántica (Tulving, 2000).

También es posible evaluar a la memoria episódica presentando historias ficticias a los participantes durante la codificación. En la recuperación, los participantes tienen que responder preguntas acerca de la historia presentada anteriormente; la precisión en esta tarea se refleja por el número de respuestas correctas. Algunas de las pruebas anteriormente mencionadas son incompatibles con la evaluación de la actividad cerebral (e.g., RMf y PREs) dado que las respuestas del participante deben ser verbales.

Existe la posibilidad de evaluar a la memoria episódica con el paradigma “viejo-nuevo”, una de las pruebas más utilizadas en neurociencia (Rugg & Vilberg, 2013). Los participantes tienen que aprender una serie de palabras durante la codificación. Posteriormente, durante la recuperación, se presenta de forma aleatoria otra serie de estímulos que incluyen estímulos viejos (los que aparecieron en la codificación) y nuevos. En la recuperación tienen que indicar si los estímulos son viejos o nuevos. Cada una de estas dos respuestas puede ser asociada a la presión de un botón, por lo que el paradigma “viejo-nuevo” se ha usado en estudios con PREs (Düzel et al., 2001; Leynes & Crawford, 2018; Murray et al., 2015) y RMf (Huijbers et al., 2010; Kim & Cabeza, 2009; Mendelsohn et al., 2010).

Las respuestas en pruebas de reconocimiento (e.g., “viejo-nuevo”) se pueden clasificar en cuatro (ver **Tabla 1**): 1) la identificación correcta de estímulos viejos son aciertos; 2) considerar incorrectamente estímulos viejos como nuevos; 3) la identificación correcta de estímulos nuevos se conoce como rechazos correctos; 4) considerar incorrectamente como viejos los estímulos nuevos. Una posibilidad es que el participante responda en función de qué tan familiar le parece un estímulo. Lo anterior podría implicar que el participante tenga un criterio subjetivo muy laxo para identificar a un estímulo como viejo, por lo que podría no reflejar adecuadamente la eficiencia. Tener un criterio laxo podría hacer que el participante tenga un alto porcentaje de aciertos, así como un alto porcentaje de falsas alarmas (Tulving, 2000). Si se presenta esta posibilidad, los aciertos no reflejarían adecuadamente la eficiencia del reconocimiento. La solución a este problema es utilizar medidas que tomen en cuenta a los aciertos y a las falsas alarmas, como la diferencia entre aciertos y falsas alarmas o el índice d' (Tulving, 2000). La d' se calcula restando la distribución de puntajes z de la probabilidad de falsas alarmas a la distribución de puntajes z de la probabilidad de aciertos. La d' señala la discriminación que hace el participante entre estímulos viejos y nuevos y está basada en la teoría de detección de señales. Entre mayor es la d' , mayor es la discriminación entre estímulos viejos y nuevos; mientras que si d' es igual a cero, entonces no hay discriminación (Tulving, 2000).

Tabla 1. Distintos tipos de respuesta dependiendo del tipo de estímulo, viejo vs. nuevo, durante la fase de reconocimiento.

Tipo de estímulo		
Decisión del participante	Viejo	Nuevo
Viejo	Acierto	Falsa alarma
Nuevo	Error	Rechazo correcto

También se ha utilizado una tarea llamada recordar/conocer (*remember/know*) para estudiar el reconocimiento de información. Esta tarea es una versión de la tarea de reconocimiento viejo-nuevo en la que los participantes deben responder “recordar” si reconocen un estímulo porque recuerdan alguna característica del contexto cuando lo percibieron por primera vez. Cuando los participantes reconocen a un estímulo viejo porque sienten familiaridad, aunque no recuerden algo del contexto, se debe responder “conocer”. La tarea recordar/conocer evalúa los procesos de familiaridad y recuerdo que serán descritos con más detalle en la siguiente sección.

El paradigma recordar-conocer asume que los participantes recuerdan detalles del contexto cuando responden “recordar”, sin probarlo (e.g., Yu, Johnson, & Rugg, 2012), lo que descansa en un criterio subjetivo del participante. Existen estudios que tienen la ventaja de utilizar tareas en las que se pregunta a los participantes por detalles del contexto, si reconocen a un estímulo como viejo (e.g., Estrada-Manilla & Cansino, 2012). De acuerdo con su definición, la memoria

episódica implica recordar qué evento ocurrió, en dónde y cuándo, y a pesar de ello, no siempre se pregunta acerca del contexto temporal y espacial.

El estudio del qué, dónde y cuándo de la memoria episódica implica tomar en cuenta los procesos de codificación y recuperación. Sin embargo, como vimos, hay pruebas que no evalúan todos estos aspectos, ya sea porque no permiten estudiar la actividad del cerebro (i.e. con RMf, PREs), o bien porque no evalúa el contexto (i.e., paradigma viejo-nuevo). En cambio, el paradigma “recordar-conocer” permite evaluar la actividad cerebral, sin embargo, no evalúa el contexto de forma objetiva. Esta desventaja desaparece cuando se pregunta de forma directa por los detalles del contexto: ¿Cuándo y en dónde apareció el estímulo?

La forma en la que se evalúa la recuperación de contextos normalmente implica dos elementos. El primero es igual al de otras tareas en donde existen dos fases, una de codificación y otra de recuperación, en donde se tiene que aprender y reconocer una serie de estímulos (e.g., una palabra, imagen, sonido, etc.) respectivamente. El segundo elemento es el que difiere de otras tareas. Este elemento es el contexto en el que está inmerso dicho estímulo. El contexto se define como un elemento presente en la codificación del estímulo objetivo. Por ejemplo, en un estudio se presentó una serie de imágenes que durante la codificación se tenían que clasificarse como vivos o inertes. Estas imágenes se presentaron en diapositivas que tenían un color y textura específicas. En la fase de recuperación, los participantes tenían que recordar si la imagen era nueva o vieja, y si era vieja, tenían que señalar el color y textura de las imágenes durante la codificación (Estrada-Manilla & Cansino, 2012). En este ejemplo, la imagen es el estímulo objetivo, que es al que se tenía que responder durante la codificación, mientras que

el contexto era el color y la textura de la diapositiva. En inglés, a este tipo de tareas se les conoce como *source memory tasks*. Este tipo de tareas ofrece la oportunidad de evaluar de forma objetiva la recuperación tanto del estímulo objetivo, como del contexto en el que se encontraba inmerso. Este tipo de tareas son las que se utilizan para evaluar al contexto temporal o espacial.

2.1.3 Reconocimiento de información: familiaridad y recuerdo

Existe un modelo para explicar el reconocimiento de información llamado modelo de detección de señales del proceso dual (DPSD; *dual-process signal detection model*, en inglés). En este modelo se distinguen dos formas en las que se puede recuperar información: familiaridad y recuerdo (*recollection*, en inglés). La familiaridad es un proceso que refleja la fuerza en la memoria (e.g., la seguridad con la que se recupera un evento) con la que se recuerda un evento basado en la sensación de haber percibido anteriormente un estímulo sin necesariamente haber recordado detalles del contexto; mientras que el recuerdo implica recuperar detalles del contexto del evento (Leynes et al., 2017a; Yonelinas et al., 2010).

Para ejemplificar la familiaridad y el recuerdo, se puede utilizar el ejemplo del carnicero en el camión (Wixted & Mickes, 2010). Imagina que subes al autobús y ves a un hombre que tienes la seguridad de conocer, aunque no recuerdas exactamente de dónde lo conoces ¿Es acaso del trabajo? ¿Es un vecino? Hasta que después de un tiempo puedes recordar que es el carnicero del mercado. En este ejemplo se pueden reconocer dos procesos. En primer lugar, se identifica a la persona por medio de familiaridad, pero con el tiempo se puede identificar también el lugar de dónde lo conoces (i.e., el contexto), es decir, reconoces a la persona por medio del proceso de recuerdo (Mandler, 1980). En un curso normal de hechos

cotidianos los dos procesos pueden ocurrir conjuntamente para dar lugar al reconocimiento de información (Mandler, 1980). Existe evidencia electrofisiológica de la presencia de ambos procesos ante la recuperación de información y su contexto, por lo que la familiaridad y el recuerdo no son necesariamente excluyentes (Mollison & Curran, 2012; Yonelinas et al., 2010); dicha evidencia será retomada posteriormente.

Una de las formas en las que se evalúa la participación de la familiaridad y el recuerdo en la recuperación de información es con el análisis de la curva ROC (*Receiver operating characteristic*, por sus siglas en inglés). Estas curvas pueden graficarse con la proporción de falsas alarmas y rechazos correctos. Cuando las curvas ROC se ajustan al DPSD se predice que, si la recuperación de información está basada más en el recuerdo que en la familiaridad, la gráfica será más lineal (**Figura 2B**); por el contrario, si la recuperación está basada más en la familiaridad que en el recuerdo, la gráfica será más curvilínea (**Figura 2A**; Diana, Van den Boom, Yonelinas, & Ranganath, 2011; Yonelinas, 1999). Un ejemplo en donde se puede observar que tanto la familiaridad, como el recuerdo se pueden dar en una misma recuperación es con tareas donde se evalúa la recuperación de los contextos (i.e., *source memory task*).

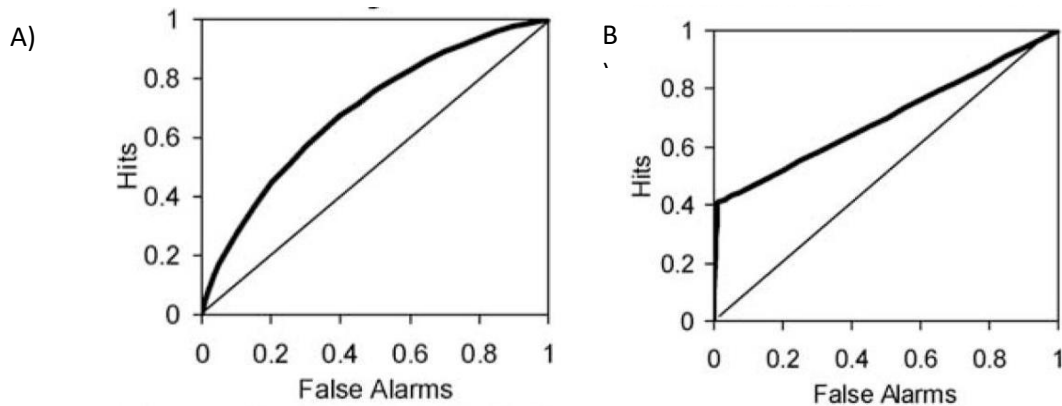


Figura 2. Representación de curvas ROC. A) Se muestra una función curvada, lo que se espera si el reconocimiento está basado en la fuerza de la memoria de cada objeto; entre mayor sea la fuerza de la memoria asociada al objeto, hay mayor probabilidad de reconocerlo. B) Esta gráfica derecha se muestra una función más lineal, lo cual es esperado si se reconoce la información únicamente cuando se supera un umbral por medio del recuerdo del contexto (modificado de Yonelinas et al., 2010).

Aunque en un principio se podría pensar que las tareas de recuperación contextual evalúan puramente el proceso de recuerdo, se ha observado que la familiaridad también puede apoyar la recuperación de contextos. Una de las formas en las que se puede explicar este fenómeno es con el proceso de “unificación” (*unitization*, en inglés). La unificación se refiere a considerar al contexto como parte del objeto a recordar en lugar de considerarlos como un par arbitrario de unidades (Yonelinas et al., 2010). En estudios conductuales se ha observado que la unificación promueve que la curva ROC se observe más curvilínea (como en la **Figura 2A**) en comparación a cuando esta unificación es baja, como sería esperado con la participación de la familiaridad (Diana et al., 2011; Yonelinas et al., 2010).

Dentro del DPSD, la familiaridad se toma como un proceso que puede variar desde familiaridad baja a muy alta (Wixted & Mickes, 2010). Para cada estímulo a reconocer, se puede tener una sensación de familiaridad, incluyendo a los estímulos nuevos, de tal modo que los estímulos viejos en promedio son más familiares que

los nuevos (Yonelinas et al., 2010). En cambio, el recuerdo no implica que se obtenga información del contexto en cada estímulo a reconocer, así que sólo en aquellos estímulos en los que se recuerde su contexto, la fuerza de memoria puede sobrepasar un umbral teórico para reconocer la información (Yonelinas et al., 2010).

Puede considerarse que hay dos perspectivas de cómo es el proceso del recuerdo. Una posibilidad es que es un proceso todo o nada (i.e., se recupera toda la información o no se recuerda la información en absoluto; Wixted & Mickes, 2010). La otra posibilidad es que sea un proceso de algo o nada (i.e., se recupera algo de información o no se recupera nada; Murray et al., 2015). Por un lado, la perspectiva todo o nada sugiere que para reconocer información se necesita sobrepasar un umbral teórico (i.e., recordar el contexto), que si no se sobrepasa dicho umbral (i.e., olvidar el contexto), no puede reconocerse la información por medio del proceso de recuerdo (Yonelinas et al., 2010). Por otro lado, la perspectiva algo o nada sugiere que después de recordar el contexto, la precisión del recuerdo del contexto puede variar y, por lo tanto, no necesariamente tiene que recordar todo el contexto (Murray et al., 2015).

2.2 Neurofisiología de la memoria episódica

Para estudiar cómo funciona el cerebro al procesar información episódica, se han utilizado principalmente las técnicas de RMf y PREs en humanos. Por un lado, la RMf por su alta resolución espacial, permite saber la localización cerebral de los procesos de codificación y recuperación (Luck, 2014). Por otro lado, los PREs poseen la ventaja de una alta resolución temporal, lo que indicaría el tiempo en que ocurren las respuestas cerebrales asociadas a la recuperación. Ambas técnicas son herramientas para conocer los procesos que realiza el cerebro (e.g., memoria episódica; Luck, 2014).

En las siguientes secciones se mostrará la evidencia de cómo responde el cerebro cuando se recupera información, describiendo las estructuras cerebrales que participan en la memoria episódica (i.e., RMf) y en qué momento se da la recuperación (PREs).

2.2.1 Áreas cerebrales asociadas a la recuperación de información de la memoria episódica

Entre las áreas que participan en la recuperación están el giro parahipocampal de forma bilateral (Diana et al., 2013; Donaldson et al., 2010), surco intraparietal (Donaldson et al., 2010; Israel et al., 2009), la corteza prefrontal dorsolateral (Israel et al., 2009; Rossi et al., 2006) e hipocampo (Duncan et al., 2014; Huijbers et al., 2010; Mendelsohn et al., 2010).

Una de las estructuras clásicas que se ha considerado necesaria para recuperar información explícita y, por lo tanto, a la memoria episódica es el hipocampo (Squire & Dede, 2015; Squire & Wixted, 2011). Desde la década de los 60's se descubrió que la extirpación del hipocampo (junto con otras estructuras del lóbulo temporal medial) no permitía la creación de memorias a largo plazo (Squire

& Dede, 2015; Squire & Wixted, 2011). Sin embargo, con la llegada de técnicas como la RMf se supo que el hipocampo también participa en la recuperación de información. Se ha observado que hay una mayor actividad hemodinámica en el hipocampo cuando se recupera información de forma exitosa en comparación a cuando falla la recuperación o a cuando se identifica información nueva (Diana et al., 2013; Huijbers et al., 2010; Mendelsohn et al., 2010; Seibert et al., 2011; Snow et al., 2014).

La participación del hipocampo, así como de áreas circundantes, en la recuperación parece incrementar conforme aumenta el tiempo que ocurre entre la codificación y la recuperación de información (Duncan et al., 2014; Huijbers et al., 2010; Mendelsohn et al., 2010), lo que coincide con lo encontrado cuando se recuerda información personal asociada a distintas etapas de la vida (Tsukiura et al., 2002). El hipocampo también es una de las regiones que participa en la recuperación del contexto temporal y espacial (Ekstrom & Bookheimer, 2007; Kyle et al., 2015), y de acuerdo a Copara et al. (2014), principalmente las áreas CA2, CA3 y el giro dentado, además de la corteza parahipocampal (Copara et al., 2014).

El hipocampo y áreas circundantes no participan de la misma forma para recuperar los distintos componentes de la memoria episódica. Por un lado, al recuperar información del qué hay una mayor actividad hemodinámica en la corteza perirrinial que cuando se recupera información del dónde o el cuándo (Ekstrom & Bookheimer, 2007). En cambio, cuando se recupera el qué o el contexto espacial hay una mayor actividad del hipocampo izquierdo y de la corteza perirrinial derecha en comparación a cuando se recupera el contexto temporal (Ekstrom & Bookheimer, 2007). En conjunto, estos datos indican que la corteza perirrinial participa

principalmente en la recuperación del objeto y, en menor medida, en la recuperación del contexto espacial. Por otro lado, cuando se recupera el contexto espacial hay una mayor activación de la corteza parahipocampal izquierda en comparación a cuando se recupera el qué y el contexto temporal (Ekstrom & Bookheimer, 2007). Por último, para la recuperación del contexto temporal se ha encontrado una mayor activación en el giro recto (circunvolución del lóbulo frontal) en comparación a la recuperación con la del contexto espacial (Duarte et al., 2009).

Basándose en estudios de activación hemodinámica, se ha propuesto un modelo de la recuperación de la memoria episódica llamado RED (*retrieval, experience, and decision*, por sus siglas en inglés). Este modelo pretende explicar el proceso de recuperación por medio de fases cuasi-secuenciales, que pueden ocurrir al mismo tiempo.

La primera fase es el esfuerzo de recuperación en la que se comienza el reclutamiento de procesos para intentar que la recuperación suceda (Kim, 2020; Rugg & Wilding, 2000). Esta primera fase se ha asociado a la red de control fronto-parietal, que está asociada con procesos de control ejecutivo. Se ha hipotetizado que la red fronto-parietal funciona como un centro funcional, ya que tiene una alta conectividad con otras áreas cerebrales (Marek & Dosenbach, 2018). Además, la parte dorsal de la red fronto-parietal (i.e., red atencional fronto-parietal) está involucrada en tareas que requieren un cambio atencional en el espacio, así como atención voluntaria (Ptak, 2012). La primera fase se compone de dos factores. El primer factor es la fuerza del trazo de memoria; entre más débil sea la codificación de una memoria, más esfuerzo de procesamiento es necesario en comparación a memorias codificadas fuertemente. El segundo factor se refiere a que información

más específica (e.g., contexto) involucra un mayor procesamiento en comparación con información más general (Kim, 2020).

La segunda fase es la fase de recuperación como tal en la que participa el lóbulo temporal medial, incluyendo al hipocampo, cuya participación es mayor para el recuerdo que para la familiaridad. El modelo RED sugiere que el lóbulo temporal medial participa tanto en el recuerdo de información, como en la identificación de objetos nuevos; ambas respuestas se asocian con una mayor activación en el lóbulo temporal medial cuando se dan con una confianza alta en comparación a cuando se dan con una confianza baja (Kim, 2020).

La última fase es la del esfuerzo de decisión que se refiere al proceso de decisión (e.g., es nuevo o viejo) basado en la experiencia subjetiva de la recuperación. Este proceso final puede acelerar otros posteriores como el monitoreo post-recuperación. La red neuronal por defecto también participa, y se ha observado que incrementa su actividad con el recuerdo en comparación a la familiaridad (Kim, 2020).

Aunque los estudios con RMf, así como la integración realizada por el modelo RED nos dicen las áreas que participan en la recuperación del contexto, no sabemos si sus componentes (e.g., qué, contexto espacial, contexto temporal) se procesan de forma paralela o no. Bajo esta perspectiva, los PREs, por su resolución temporal, pueden ser de ayuda para informar sobre características temporales de la memoria episódica.

2.2.2 Potenciales relacionados a eventos (PREs) y memoria episódica

Los PREs son una técnica derivada del electroencefalograma (EEG). Esta técnica consiste en medir la actividad eléctrica cerebral por medio de electrodos colocados en el cuero cabelludo, amplificando la señal y graficando cambios del voltaje a lo largo del tiempo (Luck, 2014). Los PREs son cambios positivos y negativos en el voltaje cerebral, positivos y negativos, producto de la actividad neuronal que se asocian al procesamiento de un tipo de estímulo o de una tarea (Luck, 2014; Teplan, 2002).

Dada su alta resolución temporal, los PREs ofrecen una medición continua del procesamiento de información, incluso antes de que el participante ejecute una respuesta. Además, gracias a esta técnica se puede saberse qué procesos están influenciando una manipulación experimental, lo que no siempre pueden observarse conductualmente (Luck, 2014).

Es relevante especificar que la actividad eléctrica cerebral detectada por los electrodos durante los PREs (y el registro de EEG en general) proviene principalmente de las neuronas piramidales de la corteza cerebral (Luck, 2014). Los potenciales postsinápticos son el origen de esta actividad eléctrica cerebral; solamente cuando muchos potenciales postsinápticos ocurren en neuronas orientadas de forma similar es que se suman y es posible detectar su actividad a nivel de cuero cabelludo (Luck, 2014). Como resultado, los PREs dan una medida casi instantánea de la actividad neuronal mediada por neurotransmisores (Luck, 2014).

Los PREs presentan características específicas como polaridad, amplitud, latencia y topografía (Luck, 2014). La polaridad puede ser positiva negativa. Con la

amplitud se puede medir la magnitud del componente de PREs observado; mientras que la latencia da la temporalidad de que ocurre dicho PRE. La topografía da especificidad a los componentes encontrados (e.g., componentes con distinta distribución en el cuero cabelludo podrían indicar orígenes cerebrales distintos) (Luck, 2014).

Para su estudio, los PREs presentan componentes. Un componente de los PREs es una señal neural registrada a nivel d cuero cabelludo que es generada por una parte cerebral específica cuando se realiza un procesamiento específico. Estos componentes pueden distinguirse en los PREs por presentar un cambio sistemático en el voltaje entre condiciones experimentales, grupos de personas, tiempo, etc. (Luck, 2014).

Por sus características, los PREs han sido utilizados para estudiar a la memoria episódica. A continuación, se describirán algunos datos obtenidos con esta técnica.

2.2.2.1 PRE y recuperación

Se han encontrado que los PREs son sensibles a la información recuperada tanto en ventanas de medición tempranas, como en otras consideradas tardías. Específicamente, en un estudio se comparó la amplitud de múltiples componentes en una tarea donde en la recuperación se podían discernir tres tipos información recuperada: rechazos correctos, el qué y el dónde. En un primer momento (150-250 ms), se observó una menor amplitud en la región parietal cuando se recuperó el qué y el dónde en comparación a los rechazos correctos; esto puede implicar un primer proceso que es orientado por una clave externa, iniciando la recuperación (Cansino

& Trejo-Morales, 2008). Aunque las autoras no lo mencionan, dado que la polaridad de este componente es negativa y su latencia de aparición es temprana, es posible que sea el componente N200 (Patel & Azzam, 2005). El componente N200 se ha asociado a procesos atencionales, por lo tanto, es posible que para recuperar un contexto sea necesario un mayor reclutamiento de procesos atencionales en comparación a cuando se identifica información nueva. Posteriormente (470-1200 ms) se encontró actividad asociada tanto al intento fallido de recuperación del contexto (i.e., recuperar sólo el qué), como al de la recuperación exitosa del dónde. Al finalizar, se observan diferencias en la amplitud relacionada con la recuperación del contexto únicamente (1200-1600 ms) y, probablemente, con procesos de verificación posteriores a la recuperación misma (Cansino & Trejo-Morales, 2008). Esta descripción de los PREs corresponde a recuperación del dónde (e.g., contexto espacial), pero no se sabe cómo cambiaría si también se recuperara el cuándo (contexto temporal).

Otro componente que se ha observado durante la recuperación de información es el componente P300. Previamente en nuestro laboratorio, mediante una tarea de memoria de trabajo, encontramos que el componente P300 tenía mayor amplitud cuando se recuperaba información vieja en comparación a cuando se identificaban correctamente estímulos nuevos sin importar la región. Adicionalmente, se encontró mayor amplitud en la región frontal cuando la tarea era más compleja que la menos compleja en la región frontal, mientras que en la parietal y occipital se observó un efecto contrario (Román-López et al., 2019).

Como mencioné en la sección 2.1.3, el reconocimiento de información se puede dar por medio de los procesos de familiaridad y de recuerdo. Los

componentes FN400 (i.e., un componente frontal con amplitud negativa cuyo pico máximo ocurre aproximadamente a los 400 ms posteriores al estímulo) y LPC (i.e., *late positive component*, por sus siglas en inglés, que aparece entre los 500 y 800 ms) se asocian a familiaridad y recuerdo, respectivamente (Addante, Ranganath, & Yonelinas, 2012).

En un estudio se evaluó la identificación de tres tipos de palabras: viejas (observadas durante la codificación), nuevas similares (palabras no vistas en codificación, pero que se parecían a las viejas) y nuevas distintas (palabras no vistas en codificación y que no se parecían a las viejas) (Curran, 2000). Durante la fase de recuperación se observó que la amplitud media del componente FN400 era igual para las palabras nuevas similares identificadas incorrectamente como viejas y para las realmente viejas; ambas condiciones mostraron menor amplitud en comparación con las palabras nuevas distintas correctamente identificadas (Curran, 2000). Esto significa que la sensación de familiaridad se asocia con una disminución de la amplitud negativa de FN400. En cambio, se observó mayor amplitud del LPC para palabras viejas correctamente identificadas que para las palabras nuevas similares y las nuevas distintas. Es decir, el LPC no tiene que ver con la sensación de familiaridad, pero sí con el recuerdo. El autor toma estos resultados como evidencia de que el componente FN400 es un indicador de familiaridad y el LPC indica el recuerdo (Curran, 2000).

La propuesta de utilizar como indicadores de recuerdo y de familiaridad al LPC y al FN400, respectivamente, también se ha respaldado con un estudio con personas con daño neurológico. Se ha observado que en pacientes con daño neurológico hipocampal que presentan deterioro en el proceso del recuerdo

(evidenciado por una disminución en la correcta recuperación de contextos), el LPC tuvo una menor amplitud en comparación a personas sanas. Mientras que la amplitud del componente FN400 fue similar entre pacientes y personas sanas (Addante et al., 2012). Los autores proponen que su estudio es parte de la evidencia de que la familiaridad y recordar son neuralmente distintos; y que el daño en el hipocampo afecta al generador cerebral del componente LPC (Addante et al., 2012). Cabe resaltar dos limitaciones de este estudio. La primera es que no se realizó una prueba estadística formal para corroborar que hubiera un número de ensayos similar entre el número de ensayos incluidos en los potenciales entre los pacientes y los participantes sanos. La segunda cuestión es que el número de participantes en el grupo de pacientes (n=3) es menor en comparación a la del grupo control (n = 6). Ambos puntos podrían haber influido en las diferencias observadas, por lo que son necesarios más estudios al respecto para confirmar esta evidencia.

Existen varios estudios con distintos paradigmas que han estudiado los componentes LPC y FN400. Por ejemplo, con el paradigma de viejo/nuevo, se ha observado que el FN400 disminuye su amplitud ante el reconocimiento de estímulos viejos en comparación a los nuevos (Düzel et al., 2001).

Durante la fase de recuperación en el paradigma de conocer/recordar. En este caso, el LPC tiene una mayor amplitud cuando se responde recordar en comparación a conocer. Mientras que el conocer se relaciona a una reducción en la amplitud negativa del componente FN400 (Mollison & Curran, 2012).

En cuanto a la evaluación de la recuperación del contexto, se ha reportado que la amplitud del LPC se incrementa con la recuperación de los principales contextos propuestos por Tulving de la memoria episódica, temporal (Bettencourt et

al., 2021; Trott et al., 1999) y espacial (Mollison & Curran, 2012) en comparación a cuando su recuperación falla.

En un estudio se registraron los PRE durante el reconocimiento de dos listas de palabras (Trott et al., 1999). Durante la fase de recuperación, los participantes tenían que reconocer correctamente las palabras observadas durante la codificación y recordar en qué lista se encontraba cada palabra (i.e., recordar el contexto temporal). Cuando los participantes reconocieron correctamente las palabras y recordaron el contexto temporal, el componente LPC tuvo una mayor amplitud que cuando solamente se reconocía la palabra sin el contexto temporal (Trott et al., 1999). Esto fue replicado en un estudio en donde también se evaluó el recuerdo del contexto temporal a través de listas de estímulos (Curran & Friedman, 2004). Lo que quiere decir que el LPC es sensible al recuerdo del contexto temporal. En otro estudio más reciente también se encontró que la recuperación de la información temporal (evaluada también por medio de listas de palabras) se asocia con una disminución en la amplitud del componente FN400 (Bettencourt et al., 2021).

En otro estudio se evaluó la recuperación del contexto espacial en una serie de imágenes que tenían una ubicación espacial específica. Durante la fase de codificación se presentaron imágenes de forma individual a la izquierda o a la derecha de una cruz central en la pantalla (para darle un contexto espacial a la información adquirida); durante la recuperación se presentaron imágenes viejas junto con nuevas, y el participante tenía que decidir si la imagen se había presentado a la derecha, izquierda o si era nueva. Se encontró que, al recordar la ubicación, el LPC incrementaba su amplitud en comparación a cuando no. También

se encontró que entre más preciso era el recuerdo de la memoria espacial, la amplitud de LPC se incrementaba (Mollison & Curran, 2012).

Como se ha descrito anteriormente, el modelo DPSD ha propuesto que tanto la familiaridad como el recuerdo sirven para el reconocimiento de información y no son mutuamente excluyentes (Wixted & Mickes, 2010; Yonelinas et al., 2010); ambos procesos pueden estar presentes durante la recuperación de la memoria episódica. En un estudio en donde se evaluó la recuperación del contexto espacial, no sólo se observó un incremento en la amplitud del LPC con la recuperación correcta de este contexto, sino que también hubo una disminución del componente FN400 en comparación a cuando sólo recordaba el objeto sin contexto o en comparación de la identificación de objetos nuevos (Mollison & Curran, 2012).

Los PREs nos permiten una comprensión sobre los distintos procesos implicados en la recuperación de información episódica, desde los componentes tempranos implicados en atención hasta los componentes típicos de memoria episódica (FN400 y LPC) nos permiten una comprensión sobre los distintos procesos implicados en la recuperación de información episódica. Cada uno de estos componentes nos informa cómo actúa el cerebro en distintos momentos mientras se da lugar a la recuperación. Es por ello que en la presente investigación se tomaron en cuenta distintos componentes para el estudio de la recuperación del qué, dónde y cuándo.

2.2.3 Banda theta y recuperación de información

Además de los PRE, también se puede analizar la actividad electroencefalográfica a través de sus bandas de frecuencia. A través de

procedimientos matemáticos (e.g., descomposición de Fourier), el EEG se puede descomponer en diferentes frecuencias específicas. Estas oscilaciones son llamadas bandas de frecuencia y, normalmente se consideran cinco bandas de frecuencia: delta, theta, alfa, beta y gamma (Herrmann et al., 2016). Esta investigación se centrará en la banda theta, que oscila entre los 4 a los 8 Hz, pues es la banda que típicamente se ha relacionado con la memoria (Herrmann et al., 2016).

Se puede observar el incremento o disminución de la amplitud de una banda en microvoltios (μV); cuando la amplitud se eleva al cuadrado se obtiene la potencia absoluta de la banda (i.e., μV^2) (Bruns, 2004). Cambios en el voltaje de una banda de frecuencia específica (e.g., theta) pueden asociarse con el procesamiento de un proceso (e.g., memoria).

Un incremento en la amplitud en μV de banda se conoce como sincronización; una disminución en la amplitud se le conoce como desincronización. Para obtener la sincronización y desincronización, se tiene que tomar en cuenta la línea base; valores positivos en la amplitud posterior a la presentación del estímulo a procesar indica sincronización, mientras que valores negativos indica desincronización (Yordanova et al., 2001). Se ha considerado que el aumento o disminución en la amplitud se deben a un incremento o disminución en la sincronización de la población de neuronas subyacentes (Pfurtscheller & Lopes, 1999). Cuando los valores de sincronización y desincronización están asociados con el procesamiento de información, se les llama sincronización y desincronización relacionados con eventos, respectivamente. Si los valores de sincronización de una condición son más positivos en comparación a los de otra condición, se dice que

hay un aumento en la sincronización; si los valores de desincronización de una condición son más negativos en comparación a los de otra condición, se dice que hay un incremento en la desincronización

La recuperación de información se asocia a un incremento en la potencia absoluta de la banda theta. En un trabajo previo del laboratorio se evaluó a la memoria de trabajo, que es un tipo de memoria a corto plazo en el que se requiere mantener y manipular información para realizar una tarea (Román-López et al., 2019). Para evaluar este tipo de memoria también se utilizó una tarea que tenía una fase de codificación y una de recuperación. Mientras que en la fase de codificación no hubo diferencias significativas en la banda theta, en la fase de recuperación se encontró una menor sincronización en la región frontal cuando se recuperaba correctamente información vieja en comparación a cuando se identificaban correctamente estímulos nuevos (Román-López et al., 2019). En cambio, para la región occipital se observó un incremento en la sincronización de theta asociada a la recuperación correcta de información vieja en comparación con la identificación correcta de estímulos nuevos (Román-López et al., 2019). Ambos efectos se observaron de los 300 a los 700 ms después de la presentación del estímulo a reconocer. Esto podría interpretarse como que la oscilación de theta, es decir, entre 4 a 8 Hz, incrementa ocurre durante la discriminación correcta de un estímulo viejo en contraste con uno nuevo; y que esta sincronización es opuesta entre la región frontal y la occipital.

En cuanto a la memoria episódica, se han observado resultados similares. En un estudio se evaluó la amplitud de theta cuando se reconocían rostros; durante la codificación, se presentaron rostros en un contexto específico (i.e., dibujo de

fondo), mientras que en la recuperación se les solicitaba a los participantes mencionar el género del rostro y qué había sido presentado en el fondo de la imagen. Se encontró que el recordar el rostro junto con el contexto se asoció con una mayor amplitud de theta, entre los 300 a los 700 ms después del comienzo de la recuperación, en comparación a cuando se recordaba únicamente el rostro (Guderian & Düzel, 2005). Además, se ha observado que la amplitud de theta es mayor en función de la eficiencia para recordar un contexto específico; entre más eficiente sea un participante, mayor es la amplitud de theta en la recuperación (Addante, Watrous, Yonelinas, Ekstrom, & Ranganath, 2011). Estos resultados sugieren que la sincronización de theta se asocia a que el proceso de recuerdo sea exitoso; theta parece ser un marcador electrofisiológico del recuerdo.

La idea de que theta apoye principalmente el recuerdo del contexto se ve reforzada por la ausencia en el incremento de theta entre la sincronización de theta asociada a aciertos en comparación a la asociada a rechazos correctos en un paradigma viejo/nuevo (Klimesch, Doppelmayr, Yonelinas, et al., 2001). En un estudio, no se hallaron diferencias significativas entre la amplitud de la sincronización de los 250 a los 750 ms en la región frontal, central, parietal, temporal y occipital cuando se reconocía correctamente una imagen vieja (i.e., aciertos) en comparación a cuando se identificaba correctamente una imagen nueva (rechazos correctos). En cambio, en esta misma ventana temporal y regiones (exceptuando a la región temporal) hubo una mayor amplitud de sincronización de theta durante la fase de recuperación en comparación a la fase de codificación. Es decir, la banda theta incrementa su sincronización durante la fase de recuperación en comparación a la codificación (Klimesch, Doppelmayr, Stadler, et al., 2001) y, dentro de la

recuperación, la banda theta se incrementa cuando se recupera el contexto (Guderian & Düzel, 2005).

Roberts et al. (2018) aportó evidencia directa de la relevancia de theta en la memoria episódica. En los estudios que se han citado arriba, se han encontrado asociaciones entre theta y la recuperación de memoria episódica, así que manipulaciones en la banda theta (e.g., incrementando su potencia a través de la estimulación audiovisual con una frecuencia de 5.5 Hz:) deberían afectar la eficiencia en la memoria (Roberts et al., 2018). En este estudio, un grupo de personas incrementó la potencia de theta a través de un entrenamiento por estimulación visual y auditiva con una frecuencia de 5.5 Hz, que presentó una mayor eficiencia al recordar el contexto en comparación a un grupo de personas que habían recibido un entrenamiento para mejorar el poder de una banda distinta (14 Hz) y en comparación a otro grupo que sólo escuchó un ruido blanco. Los autores sugieren dos posibilidades para explicar cómo el entrenamiento de theta mejoró la recuperación del contexto de la memoria episódica. La primera es que theta participa en el monitoreo del contexto, por ejemplo, el incremento de theta podría hacer que los participantes atiendan selectivamente detalles que les permitan realizar una discriminación exitosa del contexto. La otra posibilidad es que el entrenamiento de theta mejore la habilidad de los participantes para entrar en una forma de “estado preparatorio” que mejora la probabilidad de recuerdo (Roberts et al., 2018). Esto se realizó mediante la presentación de estímulos visuales y auditivos.

Los resultados anteriores se ven reforzados por otro estudio en el que también se incrementó la amplitud de la banda theta mediante entrenamiento

(Eschmann et al., 2020). En este caso se utilizó una técnica llamada “neuroretroalimentación”, que consiste en indicarle al participante la amplitud de theta detectada en su cuero cabelludo en tiempo real y, mediante algunas estrategias (e.g., operaciones matemáticas), solicitarle que trate de aumentar esta amplitud. El mecanismo de acción por el que se lleva a cabo esta técnica es a través de condicionamiento operante (Hammond, 2011); la amplitud percibida por el participante sería el reforzador, y la respuesta cerebral sería la respuesta operante. Se comparó la eficiencia en una tarea en donde se requería recuperar el contexto antes y después del entrenamiento (durante siete días); el grupo control estuvo formado por participantes que realizaron un entrenamiento similar, pero que entrenaron en bandas distintas a la de theta. Al igual que en el estudio anterior, en este estudio se observó un incremento en la eficiencia para recordar el contexto en el que se recordó la información objetivo. Además, mostró que el efecto se mantenía 13 días después del término del entrenamiento. Los autores explicaron sus resultados mencionando un posible rol de theta en la coordinación de la inhibición de recuerdos en competencia (Eschmann et al., 2020).

Una de las principales estructuras en las que se ha encontrado el ritmo theta es el hipocampo que, como se mencionó en anteriores apartados, es una de las estructuras principales en la formación de nuevos recuerdos. Sin embargo, no es la única estructura en la que se ha localizado theta. También se ha encontrado en áreas corticales, como la corteza prefrontal, la corteza parieto-temporo-occipital, corteas de asociación, etc. (Karakas, 2020). La interconexión entre el hipocampo y regiones corticales produce la interacción cortico-hipocampal; esta interacción está basada principalmente en el ritmo theta. Específicamente, la recuperación se

representa por el disparo neuronal de las áreas interconectadas, la coherencia de theta, la sincronización y la desincronización de theta (Karakas, 2020).

En conjunto, toda la evidencia mostrada sugiere que la memoria se asocia con la actividad cerebral dada en una frecuencia dentro de la banda theta; especialmente cuando se recupera contexto en la memoria episódica. Al igual que en los estudios con PREs, no hay estudios que hayan mostrado qué ocurre en theta cuando se recuperan en un mismo ensayo los tres elementos principales de la memoria episódica (i.e., qué, dónde y cuándo). ¿Qué ocurre con la amplitud de la banda theta si se recupera uno, dos o todos los elementos? ¿hay un efecto sumativo (i.e., entre más elementos recuperados, mayor es la amplitud de theta) o es un proceso dicotómico (i.e., no hay diferencias entre recuperar uno o dos contextos)? Parte de esta investigación trata de resolver estas cuestiones.

3. Planteamiento del problema

La memoria episódica implica recuperar información dentro de un contexto espacial y temporal. Se han reportado marcadores electrofisiológicos asociados a la recuperación exitosa de distintos elementos de la memoria episódica. Una clase de este tipo de marcadores son los PREs, que van desde los típicamente asociados con atención (e.g., P300) hasta otros que han sido asociados principalmente a los procesos de familiaridad y recuerdo (i.e., FN400 y LPC). También se ha descrito que la amplitud de la banda theta es sensible a la recuperación de la memoria episódica, específicamente a la recuperación del contexto. Si los marcadores electrofisiológicos son sensibles a la recuperación de información episódica (e.g., el contexto), entonces, se podría esperar que la recuperación completa de un episodio que incluya el qué, el dónde y el cuándo, sumen los efectos observados en cada uno de los marcadores electrofisiológicos, tanto en los PREs, como en la banda theta.

4. Pregunta de investigación

¿El tipo de información episódica recuperada (qué, cuándo y/o dónde) modifica la amplitud de los componentes N200, P300, FN400 y LPC, y la amplitud de la banda theta?

5. Hipótesis

La amplitud de los componentes N200 y FN400 disminuyen, mientras que la amplitud de P300 y LPC, así como de la banda theta aumentan en función de qué tantos elementos de la memoria episódica se recuerden.

6. Objetivos

6.1. Objetivo general

Describir los cambios electrofisiológicos a través de PREs y la banda theta asociados a la recuperación de información episódica

6.2. Objetivos específicos

1. Determinar si existen diferencias en el porcentaje de respuestas y tiempos de reacción para cada tipo de información recordada.
2. Evaluar los cambios en amplitud de los componentes N200, P300, FN400 y LPC y de la sincronización de la banda theta en función del recuerdo del contexto temporal y/o espacial.

7. Método

7.1 Participantes

Participaron 26 jóvenes (M= 22.8 años, D.E.M.=2.43) diestros sin antecedentes neurológicos, ni psiquiátricos (ver **Tabla 4**). Ningún participante presentó ceguera a los colores, que fue evaluada por medio del instrumento de Ishihara. Fueron excluidos todos los participantes que presentaran síntomas severos de ansiedad, o síntomas graves de depresión; estos síntomas fueron evaluados por los Inventarios de Ansiedad de Beck (IAB) y el Inventario de Depresión de Beck (IDB) (Jurado et al., 1998; Robles et al., 2001), respectivamente. Ninguno de los participantes presentó trastorno por uso de sustancias de acuerdo con los criterios del Manual diagnóstico y estadístico de trastornos mentales (DSM-V, por sus siglas en inglés).

7.2 Instrumentos

- Carta de consentimiento informado. Todos los participantes leyeron y firmaron una carta de consentimiento. En ella se explicó en qué consistía el estudio, así como los objetivos y la justificación de la investigación. El documento fue aprobado por la Comisión de Investigación y Ética de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México.

- Cuestionario de Antecedentes Neurológicos y Psiquiátricos. Se utilizó para saber si el participante presentaba algún diagnóstico de los siguientes trastornos: Depresión, Trastorno bipolar, Episodio maníaco o maniaco depresivo, cualquier Trastorno de Ansiedad, Trastorno Obsesivo-Compulsivo, Trastorno por déficit de atención e hiperactividad, Narcolepsia, Epilepsia, Traumatismo craneoencefálico con pérdida de conciencia, Autismo, Asperger, Tourette, Esquizofrenia, Enfermedad de Parkinson, Enfermedad de Huntington y Alzheimer.

Instrumento de Ishihara. Se utilizó una versión corta de este instrumento. Consistió en láminas con puntos de diferentes colores en donde al centro de cada lámina aparece un número. Dicho número no es visible si el participante es ciego al color.

- Cuestionario de Trastorno por uso de sustancias. Este cuestionario consistió en una serie de criterios de trastorno por uso de sustancias, de acuerdo con el DSM-V.

- Inventario de Edimburgo. Está conformado por 10 preguntas, y tiene la función de comprobar la lateralidad de nuestros participantes, a través de pedirle al participante que mencione la frecuencia con la que utilizan distintas partes del cuerpo (Oldfield, 1971). Los resultados pueden ser: derecha muy preferente, derecha preferente, indiferente, izquierda preferente e izquierda muy preferente.

Para calificar este inventario, se asigna un valor a cada respuesta para las respuestas “derechas” e “izquierdas”. Las respuestas de derecha muy preferente e izquierda muy preferente tienen un valor de dos; derecha e izquierda preferentes se califican con un punto; mientras que indiferente, se califican con un punto a derecha y un punto a izquierda. Para obtener el puntaje final, se resta la suma de los puntos para la derecha y para la izquierda; posteriormente, se resta la suma de derecha menos la suma de izquierda. El resultado de la resta se divide entre la suma de los puntos para derecha y para izquierda. El cociente de esta operación se multiplica por 100. Se considera como diestra a las personas que puntúen 40 puntos o más.

- Inventario de Depresión de Beck (IDB). Utilizado para evaluar si los participantes presentaban síntomas severos de depresión. El cuestionario de IDB consiste en 21 grupos de oraciones. Los participantes escogieron una oración por grupo en función de cómo se sintieron en los últimos siete días. Cada enunciado tiene un puntaje que va de cero a tres puntos. La puntuación para cada participante se obtuvo sumando el puntaje de cada oración escogida. Se excluyeron a las personas que tuvieran una puntuación mayor o igual a 30, que equivale a presentar síntomas severos de depresión (Jurado et al., 1998).

- Inventario de Ansiedad de Beck (IAB). Utilizado para detectar la intensidad de síntomas de ansiedad en nuestros participantes. Consiste en una lista de 21 síntomas, y los participantes contestaron la frecuencia con la que ocurrió cada uno de ellos en los últimos siete días. Cada frecuencia tuvo un puntaje específico: cero puntos para la frecuencia “nada o poco frecuente”; un punto para la frecuencia “más o menos”; dos puntos para la frecuencia “moderadamente”; y tres puntos para la frecuencia “severamente”. La puntuación total fue la suma de los puntos para todas

las frecuencias. Se excluyeron a las personas con síntomas severos de ansiedad, que equivale a un puntaje de 31 puntos o más (Robles et al., 2001).

- SHIPLEY-2 Escala breve de inteligencia. Esta escala es una prueba que evalúa la inteligencia cristalizada (conocimiento obtenido a través de la educación y experiencia) y la inteligencia fluida (capacidad de utilizar la lógica y otras habilidades para adquirir nueva información). Para la inteligencia cristalizada se utiliza una prueba de vocabulario (i.e., implica entender el significado de distintas palabras), mientras que para la inteligencia fluida se utiliza una prueba de abstracción (i.e., implica resolver problemas con números y letras). Se puede obtener una puntuación estándar para cada prueba y, con la suma de ambas, se puede obtener una puntuación global. Con dicha puntuación se determinó el cociente intelectual de los participantes.

7.3 Estímulos

Se utilizaron 336 imágenes a color, de las cuales el 50% representaban objetos naturales y 50% artificiales. La mitad de los estímulos fueron utilizados para la fase de codificación y la otra mitad se utilizaron como estímulos nuevos en la fase de recuperación (ver descripción de la tarea más adelante). Tanto en las imágenes naturales como en las artificiales hubo cinco subcategorías, con el mismo número de estímulos. Las categorías para las imágenes naturales fueron: animales acuáticos, animales terrestres, animales voladores, frutas/verduras y árboles; las categorías para las imágenes artificiales fueron: muebles/electrodomésticos, juguetes, ropa/accesorios, objetos relacionados con deportes y artículos del hogar. La dimensión más grande de las imágenes (ancho o alto) midió $\sim 2^\circ$ de ángulo visual.

7.3.1 Selección de estímulos

Los estímulos fueron obtenidos de distintos estudios: Brodeur, Dionne-Dostie, Montreuil, & Lepage (2010); Brodeur, Guérard, & Bouras, (2014); Moreno-Martínez & Montoro, (2012). Además, algunas otras fueron imágenes libres obtenidas a partir de búsquedas en Google. Los criterios para seleccionar las imágenes fueron que estuvieran a color en un fondo en blanco, que no fueran imágenes de dibujo y que no estuvieran dentro de un escenario. Se obtuvieron en total 786 imágenes.

Posteriormente, se realizó un estudio piloto con cinco participantes. Se programó una tarea computarizada en el programa E-Prime 2.0, en la que cinco jueces respondieron con un botón si podían asignarle un nombre a la imagen que estaban viendo, presionando un botón o no, con la presión de otro. Antes de la presentación de cada imagen, se desplegó un punto de fijación que era una cruz que medía 0.74° de ángulo visual vertical y horizontal con una duración de 400 ms. Para los puntos de fijación se utilizó una cruz que midió 0.74° de ángulo visual vertical y horizontal. Las imágenes seleccionadas fueron aquellas en las que todos los jueces reportaron que podían asignarle un nombre. Con este piloto se seleccionaron 553 de las 786 imágenes.

Se realizó un segundo estudio piloto para comprobar que los estímulos no difirieran en valencia y activación emocional entre las series y bloques que compondrían la tarea de memoria episódica utilizada. Para ello se programó en E-Prime 2.0 una tarea en la que se adaptó la escala "Maniquí de autoevaluación" (*Self assessment manikin*, SAM, por sus siglas en inglés). En este estudio piloto también participaron cinco jueces (distintos a los que participaron en el anterior piloto). En la

escala de Maniquí de autoevaluación, el participante debe escoger una de nueve opciones. Para evaluar la valencia, la escala va de un rostro triste a uno feliz; para la activación va de figuras relajadas a muy excitadas (Bradley & Lang, 1994). De esta forma, se seleccionaron las 336 imágenes finales utilizadas para la tarea de memoria episódica. Se corroboró que las imágenes no difirieran en valencia y activación entre bloques, posición y orden. Los análisis y resultados son mostrados en el apartado 12. Anexos.

7.4 Tarea de memoria episódica

La tarea se dividió en seis bloques de ensayos. Cada uno se dividió en dos fases, una de codificación y una de recuperación; la Figura 3 muestra representaciones de ambas fases. La fase de codificación estuvo compuesta de dos series de imágenes para dar un contexto temporal; cada serie contenía 14 imágenes. Durante la codificación el participante debía clasificar las imágenes como artificiales o naturales. Durante esta fase se le indicó al participante que después de la codificación habría una fase de recuperación en donde se le preguntaría acerca de la posición y serie en donde se presentaron los estímulos en codificación. Cada ensayo consistió en la presentación individual de lo siguiente: 1) una cruz al centro de la pantalla como punto de fijación durante 400 ms; 2) una imagen arriba o abajo del punto de fijación durante 1000 ms, creando un contexto espacial; 3) un punto de fijación durante 1000 ms; 4) un símbolo de arroba durante 1700 ms, durante el cual el participante podía parpadear; 5) una diapositiva en blanco concomitante a la presentación de un sonido (de 400 a 600 ms de duración), que le indicaba al

participante que debía dejar de parpadear porque iniciaría un nuevo ensayo (ver Figura 3A).

Después de la codificación, se presentó la fase de recuperación. Durante la recuperación se presentaron 56 imágenes, 28 viejas (aparecieron en la fase de codificación) y 28 nuevas. Los ensayos de recuperación fueron similares a los de codificación, excepto por la presentación de la imagen. En la fase de recuperación la imagen era presentada al centro de la pantalla y en ese momento el participante debía responder con uno de los cinco botones disponibles y visibles a los participantes asociados con una respuesta específica en función de cómo identificaba al estímulo que presentado: 1) si apareció en serie uno, arriba del punto de fijación; 2) si apareció en serie uno, abajo del punto de fijación; 3) si apareció en serie dos, arriba del punto de fijación; 4) si apareció en serie dos debajo de punto de fijación; 5) si el estímulo era nuevo. La posición (arriba o abajo) y la serie (uno o dos) de la imagen se manipularon para evaluar al contexto espacial y espacial de la memoria episódica (dónde y cuándo), respectivamente (ver Figura 3B). La posición y la serie de las imágenes se contrabalancearon. Con la tarea utilizada se pueden obtener diferentes tipos de ensayos en función de lo que recuerdan los participantes. Dichos tipos de ensayos se explican en la Tabla 2.

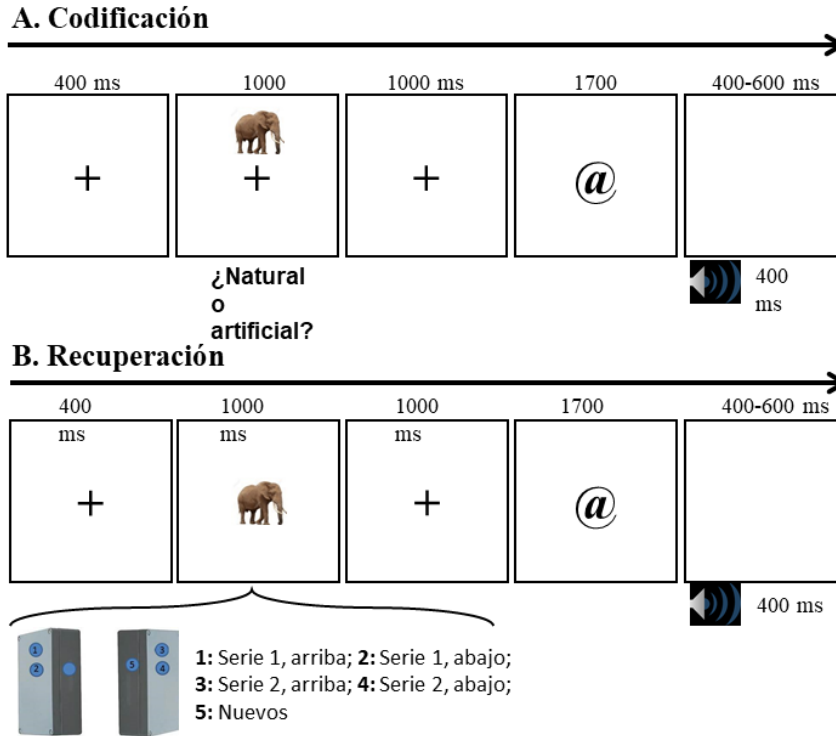


Figura 3. Representación de los ensayos de codificación y recuperación de la tarea de memoria episódica. A. La fase de codificación consistió en cinco diapositivas. Las primeras tres tuvieron un punto de fijación, y la segunda tuvo una imagen arriba o abajo del punto de fijación. En la cuarta diapositiva apareció un símbolo de @ que indicaba a los participantes que hasta ese momento podían parpadear. La quinta diapositiva estaba en blanco y se presentó un sonido que indicaba que se debía detener el parpadeo. B. La fase de recuperación es parecida a la de codificación, excepto que la imagen se presentó al centro de la diapositiva. El participante debía presionar un botón dependiendo de la serie y la posición en la que había aparecido durante la codificación.

Tabla 2. Descripción de las cinco posibles respuestas en función del tipo de ensayo y el recuerdo del participante.

Información identificada correctamente				
Tipo de ensayo	Imagen (el qué)	Contexto temporal (el cuándo)	Contexto espacial (el dónde)	Imágenes nuevas (no implica recordar)
Total	√	√	√	X
Temporal	X	√	X	X
Espacial	X	X	√	X
Objeto	√	X	X	X
Errores	X	X	X	X
Rechazos correctos	X	X	X	√

Nota: El símbolo √ indica que es un tipo de información identificada en el ensayo señalado; la X significa que en dicho ensayo no se identificó un determinado tipo de información. E.g. en los ensayos total se recuperó el qué, el cuándo y el dónde (√), pero no se identificó imágenes nuevas (X).

7.4.1 Tarea de práctica

Antes de comenzar con la tarea de memoria episódica, los participantes realizaron un entrenamiento para aprender cómo responder durante la fase de recuperación. Los participantes respondieron con dos cajas de respuesta; cada caja contenía tres botones (ver Figura 3B). Se utilizaron cinco botones enumerados del uno al cinco, cada uno asociado a una posibilidad de respuesta. El uso del quinto botón fue para asignar a la posibilidad de “nuevo”, y su uso estuvo contrabalanceado. En este entrenamiento, se presentaban a los participantes cinco palabras con las distintas posibilidades de izquierda y derecha. Cada palabra se presentaba por 1000 ms. Las palabras fueron: S1arriba, S1abajo, S2arriba, S2abajo

y Nuevo. Se indicó a los participantes que respondieran con el botón correspondiente en cuanto vieran la palabra. Cada posibilidad se repitió de forma pseudoaleatoria 10 veces, con la condición de que no apareciera cada posibilidad en tres ocasiones seguidas. Los participantes repitieron el entrenamiento hasta que tuvieran un máximo de un error por condición. Este criterio fue aplicado para asegurar que las respuestas dadas en la tarea de memoria episódica eran debido al recuerdo de las imágenes y no al olvido de cómo contestar con las cajas de respuesta.

7.5 Registro y análisis de EEG y análisis

El sistema de registro utilizado fue NetAmp 400, de alta impedancia (Electrical Geodesics [EGI], Eugene, OR, USA). Se utilizaron 32 electrodos, uno de tierra y dos de referencia (mastoides). Los electrodos tuvieron una impedancia < 50 k Ω . La tasa de muestreo fue de 1000 Hz con un ancho de banda de 0.01-100 Hz. Los parpadeos y movimientos oculares fueron registrados usando dos electrodos abajo y arriba de los ojos, y otros dos en los cantos de los ojos. Con el fin de obtener una señal con el menor ruido posible, la señal fue filtrada offline de 0.1 a 20 hz, además de utilizar un análisis de componentes independientes para remover actividad eléctrica asociada con artefactos debido a parpadeos y movimientos oculares. Adicionalmente, se eliminaron las épocas que tuvieran un amplitud mayor o igual a 50 μ V.

Las épocas fueron creadas offline e iban de los -160 ms previos a la presentación del estímulo, hasta los 800 ms después de dicha presentación. Para la obtención de los PREs se promediaron las épocas en función del tipo de recuerdo, i.e., qué información fue recordada para recuperación, además de los

Rechazos correctos (i.e., identificar correctamente los estímulos nuevos). No hubo diferencias significativas en el número de épocas para los PREs entre los distintos tipos de ensayo ($F(2, 50) = 2.10, p=0.90$; total = 29.69, $SD = 1.58$; espacial = 29.27, $SD = 1.66$; rechazos correctos = 28.77, $SD = 1.78$).

Para obtener la amplitud de theta la señal fue filtrada de 4-7 hz, y posteriormente fue obtenida a través de la transformación de Hilbert (Guay et al., 2018). Posteriormente, las épocas fueron segmentadas de la misma forma que para los PREs. El número de épocas no difirió entre el número de épocas para la banda theta ($F(2, 50) = 0.13, p=0.88$; total = 29.69, $SD = 1.58$; espacial = 29.05, $SD = 1.64$; rechazos correctos = 28.70, $SD = 1.80$).

7.6 Procedimiento

En primer lugar, los participantes leyeron el consentimiento informado y si estaban de acuerdo, se continuaba la sesión. Después, se realizó la entrevista estructurada para saber si los participantes cumplían con los criterios de inclusión señalados arriba. Durante la entrevista se aplicaron: el Cuestionarios de Datos Generales, Evaluación de Sustancias Psicoactivas, Cuestionario de trastorno por uso de sustancias (e.g., alcohol, nicotina), IDB e IAB. Si el participante cumplía con los criterios de inclusión, realizaba la tarea de memoria episódica descrita anteriormente. Para realizarla, se le colocaban los electrodos (ver sección de registro de PREs). Los participantes se sentaron a 100 cm de distancia de una pantalla de computadora en la que se les explicó en qué consistía la tarea de memoria episódica y realizaron una práctica de entrenamiento para aprender cómo contestar durante la tarea. Al terminar de contestar la tarea de memoria episódica,

se les aplicaba la escala breve de inteligencia SHIPLEY-2. Los datos fueron recabados del año 2018 hasta el 2019.

7.7 Análisis estadísticos

7.7.1. Datos conductuales

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para medidas repetidas para comparar el porcentaje de respuestas correctas, teniendo como factor el tipo de recuerdo: total, temporal, espacial, objeto y error. Un segundo ANOVA de una vía para medidas repetidas fue realizada para los tiempos de reacción con el mismo factor. Se utilizó la prueba *post hoc Tukey Honest Significantly Difference (HSD)*. Los resultados se consideraron significativos con una $p < 0.05$.

7.8.2. Análisis de los PRE

7.8.2.1 Selección de ventanas temporales para PRE y banda theta. La selección de ventanas temporales de análisis se focalizó en tres regiones: frontal: (F3, Fz, F4), parietal (P3, Pz, P4) y occipitales (O1, Oz, O3). Las regiones frontal y parietal se seleccionaron debido a que se analizaron también en trabajos previos sobre recuperación de información episódica (Curran, 2000; Estrada-Manilla & Cansino, 2012; Román-López et al., 2019). La región occipital fue seleccionada debido a que en ella se observó un componente similar al LPC, anteriormente descrito; además, en un trabajo previo, observamos un efecto durante la recuperación en la banda theta en este sitio (Román-López et al., 2019).

Para evitar una selección subjetiva de las ventanas temporales que posteriormente se utilizarían para comparar la amplitud media de los PRE y de la sincronización/desincronización de la banda theta, se utilizó una aproximación no

paramétrica de permutaciones para evitar. Además, con este tipo de aproximación se disminuye la probabilidad de ocurrencia del error tipo 1 (Fields & Kuperberg, 2019). Otra ventaja de este método es que no requiere de una distribución teórica pues la distribución de la hipótesis nula de las pruebas estadísticas es creada con un proceso de iteración de los datos (Cohen, 2014) y no requiere de corrección por múltiples comparaciones si varios puntos son evaluados (Maris & Oostenveld, 2007). Para cada punto en el tiempo de la época (-160 a 800 ms), se realizó la prueba de t de Student para medidas repetidas para comparar los tipos de ensayo total y rechazos correctos; estos análisis fueron realizados usando 5000 permutaciones (i.e., iteraciones entre ensayos total y rechazos correctos). A este primer análisis le llamaremos “prueba global”. Los análisis fueron realizados usando el módulo de estadística incluido en el software *Standardized Low-Resolution brain Electromagnetic Tomography* (s-LORETA; <http://www.uzh.ch/keyinst/loreta.htm>). Las ventanas para analizar fueron seleccionadas con base en esta prueba global, con una $p < 0.05$ y con al menos 10 ms de diferencias significativas continuas (Groppe et al., 2011). Dado que se realizaron tres análisis, uno por cada región estudiada para los PRE y para la banda theta, se utilizó un análisis FDR (*false discovery rate*). Para los PRE, el umbral obtenido fue de $p \leq 0.007$ y para theta fue de $p < 0.002$. Los resultados de este análisis global se pueden observar en las Figuras 4 y 5. Con base en los resultados, se realizaron las pruebas paramétricas de permutaciones en las ventanas obtenidas para comparar cada tipo de ensayo (i.e., total, espacial y rechazos correctos). Sólo se utilizaron estos tres tipos de ensayo pues fueron los únicos que tuvieron un mayor número de respuestas que error (ver sección 8.1).

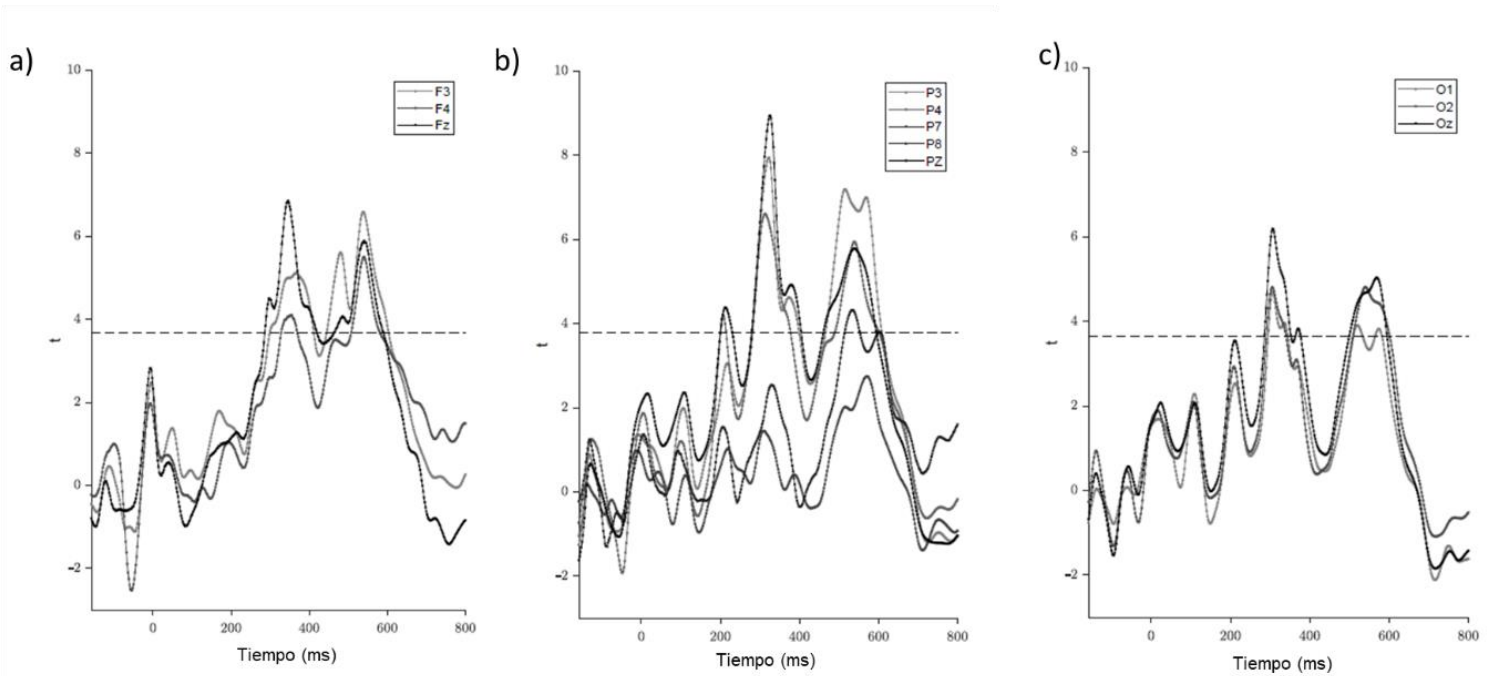


Figura 4. Resultados del análisis de permutaciones de los PREs en las regiones a) frontal, b) parietal y c) occipital. El eje de las X el tiempo desde la línea base hasta 800 ms después de la presentación del estímulo. El eje Y indica los valores t de la comparación entre los ensayos total y los rechazos correctos. La línea punteada marca el valor al cual el valor t tiene una $p < 0.05$.

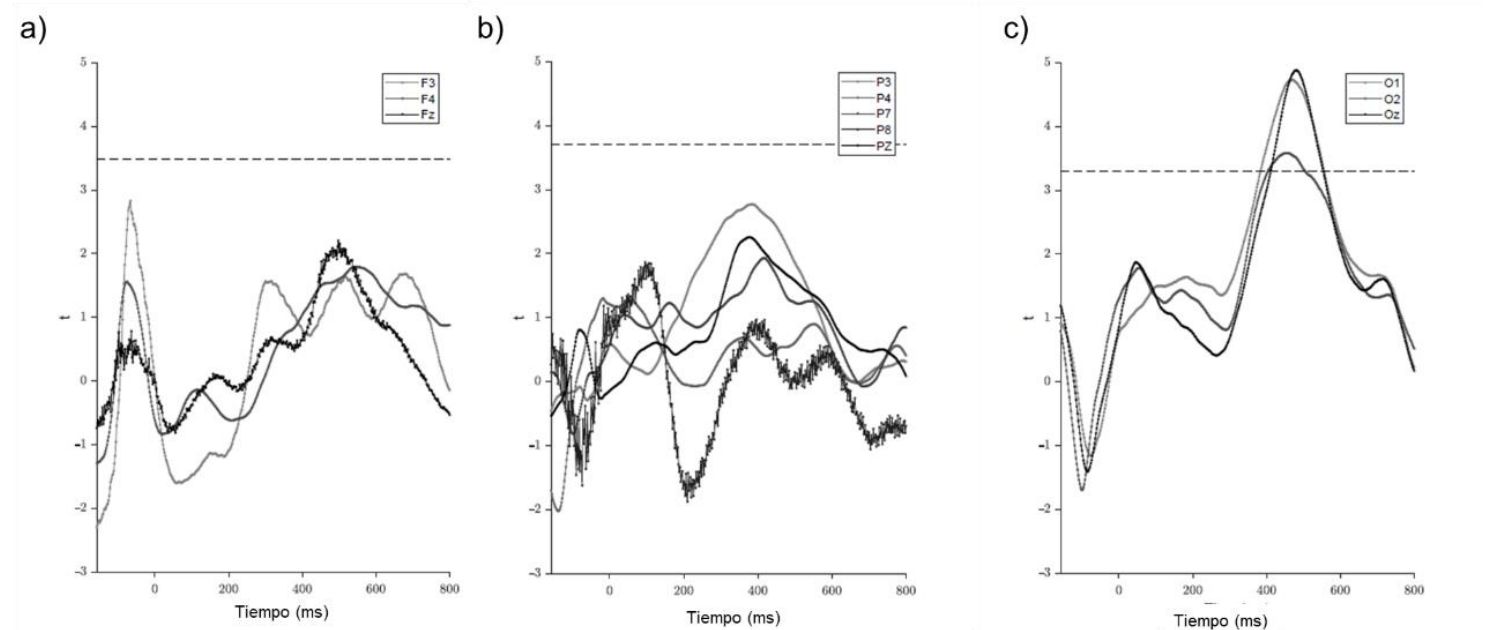


Figura 5. Resultados del análisis de permutaciones de la banda theta en las regiones a) frontal, b) parietal y c) occipital. El eje X indica el tiempo desde la línea base hasta 800 ms después de la presentación del estímulo. El eje Y indica los valores t de la comparación entre los ensayos total y rechazos correctos. La línea punteada marca el valor al cual el valor t tiene una $p < 0.05$.

7.8.2.2 Análisis de PRE. Para cada componente de los PRE, se compararon los promedios de amplitud de cada ventana obtenida entre los distintos tipos de ensayo, mediante la prueba de permutaciones descrita en la sección previa. Sólo se tomaron en cuenta los ensayos total, espacial y rechazos correctos puesto que fueron los únicos tipos de ensayo que difirieron de los errores (ver sección 8.1). Las ventanas seleccionadas se describen por región en la Tabla 3. Se realizaron ANOVA de medidas repetidas independientes de dos vías para cada región y ventana temporal con los factores tipo de ensayo (total, espacial y rechazos correctos) por electrodo (para frontales: F3, Fz y F4; para parietales: P7, P3, Pz, P4, P8; para occipitales: O1, Oz, O2). Como prueba *post hoc* se utilizó la prueba de Tukey HSD. Para todos los ANOVA de medidas repetidas se utilizó la corrección de Greenhouse-Geisser, para corregir la violación a la esfericidad, cuando fue apropiado. También se utilizó la FDR para múltiples comparaciones, a fin de evitar cometer error Tipo I, lo que dio resultado que se considerara significativa una $p < 0.03$ (Benjamini et al., 2001).

7.8.2.3 Análisis de banda theta. El análisis de permutaciones mostró únicamente una ventana temporal significativa en la región occipital. Se realizó un ANOVA de medidas repetidas para esta ventana con los factores tipo de ensayo y (total, espacial y rechazos correctos) por electrodo (O1, Oz, O2). Los resultados fueron considerados significativos con una $p < 0.05$.

Tabla 3. Ventanas seleccionadas de acuerdo con los análisis de permutaciones.

Región	Ventana seleccionada (ms)	Componente/banda theta
Frontal	288-418	P300
	446-602	LPC frontal
Parietal	200-230	N200
	280-404	P300
	462-608	LPC
Occipital	286-352	P300
	500-600	LPC occipital
	384-556	Sincronización de theta

8. Resultados

8.1 Resultados conductuales

En la Tabla 4 se muestran los datos descriptivos de los participantes del estudio.

Tabla 4. Datos descriptivos de la muestra.

N	26
Hombres/mujeres (n)	9/17
Edad (años) ^a	22.8±2.62
Años de educación ^a	15.77±1.50
Inventario de depresión de Beck ^b	6(1-22)
Inventario de ansiedad de Beck ^b	6.5(0-15)
Puntuación de inteligencia (SHIPLEY-2) ^a	114.62±5.35

^aMedia±Desviación estándar

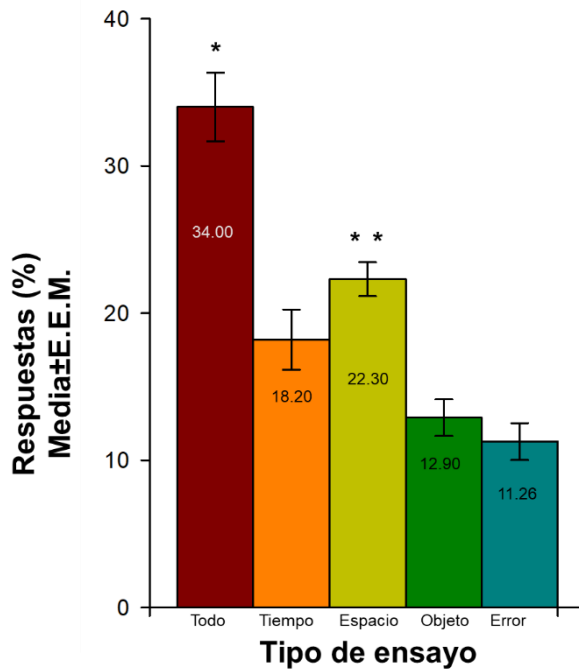
^bMediana (Min-Max)

El porcentaje de respuestas correctas mostró un efecto significativo del tipo de ensayo [$F(1.70, 42.56) = 23.34, p < .0001, \epsilon = 0.43; \text{poder} = 1.0$]. El porcentaje de respuestas correctas para ensayo total (Media±EEM (error estándar de la media): 34.00±2.34) fue mayor que para los tipos de ensayo: temporal (18.20±2.05;

$p < 0.001$), espacial (22.30 ± 1.16 ; $p < 0.001$), objetos (12.90 ± 1.24 ; $p < 0.001$) y errores (11.26 ± 1.25 ; $p < 0.001$). El porcentaje de errores y de objetos también fue menor que el del ensayo espacial ($p = 0.006$); pero los ensayos temporales no difirieron, ni de objetos, ni de errores ($p > 0.05$; Figura 4A). Los ensayos de objeto tampoco difirieron de errores. Este resultado podría sugerir que el porcentaje de los ensayos para objeto y tiempo están a un nivel de aleatoriedad. Para corroborar que estos dos tipos de ensayo estén a un mismo nivel que el azar se realizó una t de student para una muestra, donde sólo los ensayos totales ($t_{25} = 5.96$, $p = 0.000002$), espacial ($t_{25} = 1.93$, $p = 0.03$) y rechazos correctos ($t_{25} = 30.63$, $p < 0.0001$) difirieron del 20% esperado para el azar.

Para el tiempo de reacción, también se encontró un efecto por tipo de recuerdo [$F(2.06, 51.53) = 8.62$, $p = 0.001$; $\epsilon = 0.52$; poder = 0.96]. El análisis *post hoc* mostró que el tiempo de reacción para los errores (888.01 ± 31.41 ms) fue menor que para los ensayos total (956.09 ± 31.40 ms; $p = 0.003$), temporal (974.59 ± 34.57 ms; $p < 0.001$), espacial (955.28 ± 27.82 ms; $p = 0.003$) y objetos (992.02 ± 32.48 ms; $p < 0.001$; Figure 4B). No hubo alguna otra diferencia en tiempos de reacción.

A)



B)

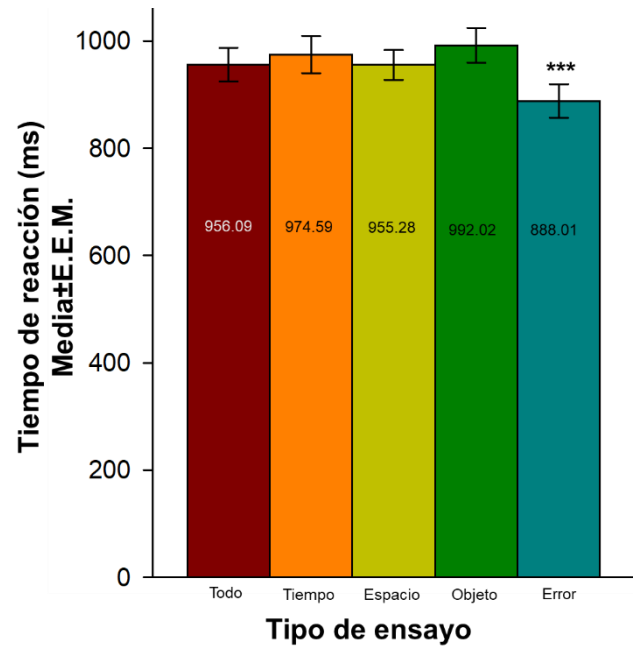


Figura 4. Resultados conductuales. A) El porcentaje de respuestas para el ensayo total fue mayor que para el temporal, espacial, objeto y error. El ensayo espacial tuvo un mayor porcentaje de respuestas en comparación a error y objeto. No hubo diferencias entre los recuerdos temporal, objeto, y error. B) El tiempo de reacción para los errores fue menor que para los recuerdos: total, temporal, espacial y objeto.
 * Todo > tiempo, espacio, objeto, error ($p < 0.001$).
 ** Espacio > Objeto, error ($p < 0.05$).
 *** Error < todo, tiempo, espacio, objeto ($p < 0.05$).

8.2 Resultados electroencefalográficos

8.2.1 PREs en función del tipo de recuerdo

La Figura 6 muestra los PREs de las regiones frontal, parietal y occipital, y la Tabla 5 muestra un resumen de los resultados estadísticos. A continuación, se describirán los resultados para cada componente.

N200 parietal. Para este componente se observó una interacción significativa entre tipo de ensayo y electrodo (Tabla 5). Los análisis post-hoc mostraron que el tipo de ensayo total (Media±EEM: P3: 0.61 ± 0.54 μV ; P4: 0.49 ± 0.46 μV) tuvo una menor negatividad en comparación con rechazos correctos (P3: -0.91 ± 0.43 μV , $p<0.001$; P4: -0.85 ± 0.39 μV , $p<0.01$). También se encontró una menor amplitud promedio para el tipo de ensayo total (1.54 ± 0.60 μV) en comparación con el ensayo espacial (0.28 ± 0.97 μV ; $p<0.01$) y rechazos correctos (-0.98 ± 0.68 μV ; $p<0.0001$), sólo en el electrodo Pz; los ensayos espaciales tuvieron una menor negatividad en comparación con el ensayo total ($p<0.01$). Además, se encontró un efecto por tipo de ensayo (Tabla 5); el análisis *post hoc* mostró que los rechazos correctos (-1.00 ± 0.32 μV ; $p<0.01$) tuvieron una mayor negatividad que los ensayos totales (0.24 ± 0.39 μV); mientras que los ensayos espaciales (-0.25 ± 0.49 μV) no difirieron ni de los rechazos correctos, ni de los ensayos totales ($p>0.03$).

Tabla 5. Resultados de ANOVAs para los componentes de los PREs. Los resultados significativos ($p < 0.05$) se muestran en negrillas.

Componente	Efecto	F	p	η^2	Poder	ϵ
FN400	Recuerdo	F(1.85, 46.20) = 15.45	= 0.0001	0.38	0.99	0.92
	Electrodo	F(1.79, 44.75) = 3.68	= 0.03	0.13	0.62	0.89
	Interacción	F(3.12, 78.01) = 2.04	= 0.11	0.08	0.51	0.78
LPC frontal	Recuerdo	F(1.19, 47.97) = 20.81	= 0.0001	0.45	1.00	0.96
	Electrodo	F(1.60, 40.00) = 3.74	= 0.041	0.13	0.66	0.94
	Interacción	F(3.45, 86.34) = 1.31	= 0.28	0.05	0.40	0.75
N200 parietal	Recuerdo	F(1.99, 49.98) = 5.23	= 0.009	0.17	0.80	1.00
	Electrodo	F(4.0, 46.84) = 1.89	= 0.02	0.07	0.36	0.47
	Interacción	F(4.16, 103.99) = 5.19	= 0.005	0.01	0.90	0.52
P300 parietal	Recuerdo	F(1.99, 49.92) = 13.58	= 0.0001	0.32	0.99	0.99
	Electrodo	F(2.06, 51.59) = 0.80	= 0.46	0.03	0.18	0.52
	Interacción	F(3.55, 88.82) = 11.56	= 0.0001	0.08	1.00	0.44
LPC	Recuerdo	F(1.68, 41.91) = 23.64	= 0.0001	0.49	1.00	0.84
	Electrodo	F(2.47, 61.76) = 14.80	= 0.0001	0.37	1.00	0.62
	Interacción	F(3.31, 74.32) = 5.75	= 0.001	0.19	0.94	0.37
P300 occipital	Recuerdo	F(1.97, 49.29) = 13.41	= 0.00001	0.35	0.99	0.99
	Electrodo	F(1.69, 42.26) = 1.91	= 0.17	0.07	0.35	0.85
	Interacción	F(3.31, 82.78) = 2.33	= 0.07	0.09	0.60	0.83
LPC occipital	Recuerdo	F(1.66, 41.58) = 18.03	= 0.00001	0.42	0.99	0.82
	Electrodo	F(1.87, 46.66) = 3.37	= 0.05	0.12	0.55	0.83
	Interacción	F(3.52, 87.92) = 1.36	= 0.26	0.05	0.38	0.38

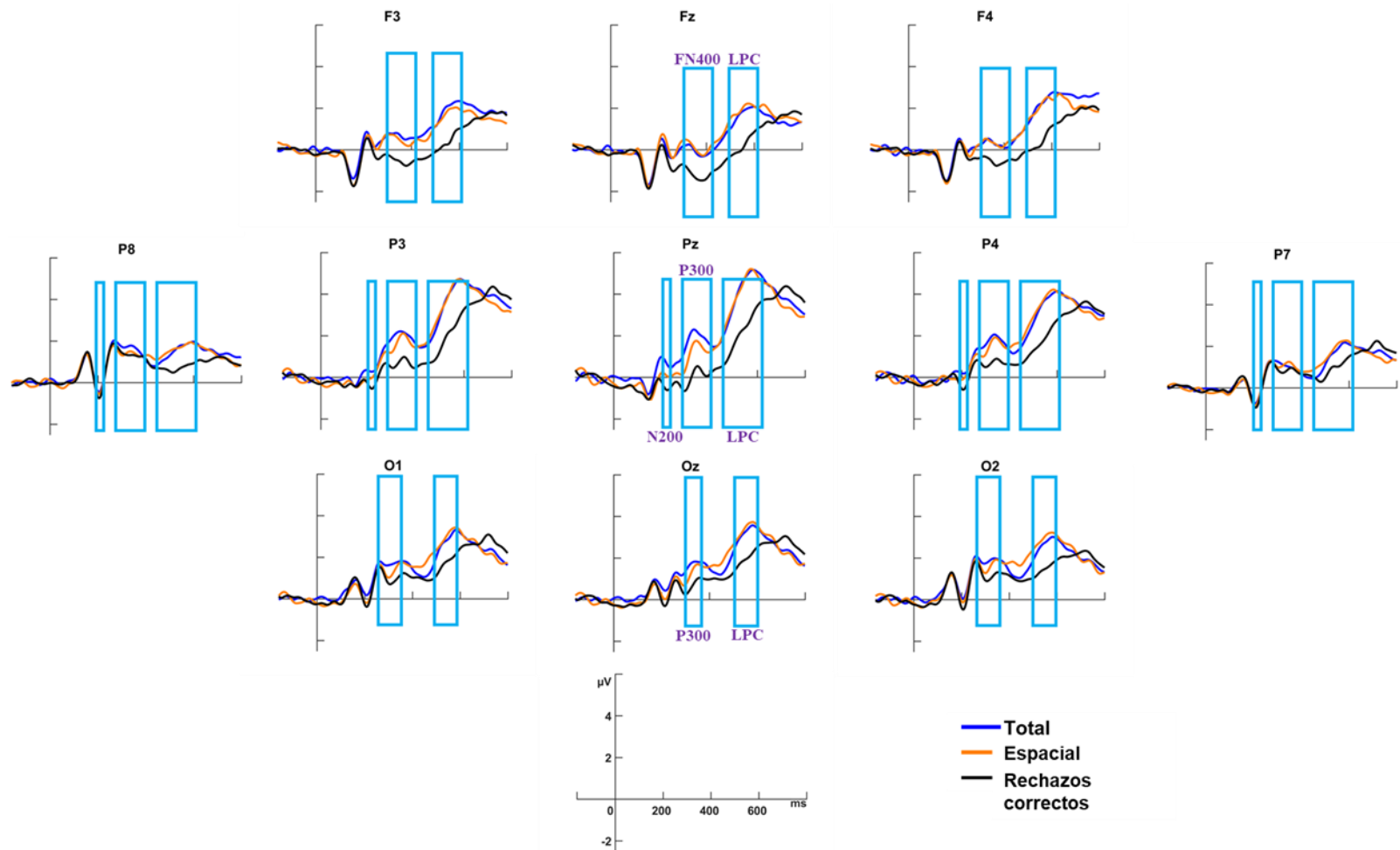


Figura 6. Potenciales relacionados a eventos asociados a la recuperación. En la región frontal se observó que el FN400 para los ensayos totales y espaciales fue menor amplitud negativa que los rechazos correctos ($p < 0.001$). Asimismo, para el LPC frontal se encontró que los ensayos totales y espaciales tuvieron mayor amplitud que los rechazos correctos ($p < 0.001$). En la región parietal hubo una menor amplitud negativa para N200 y una mayor amplitud positiva de P300 para los ensayos totales y espaciales en comparación a rechazos correctos. Sólo para el electrodo Pz se encontró que la amplitud del componente N200 tuvo una menor negatividad para los ensayos totales en comparación a los espaciales; para este mismo electrodo, se encontró que el P300 tuvo una mayor amplitud para los ensayos totales en comparación con los espaciales. Para el LPC en la región parietal se encontró que los ensayos espaciales y totales tuvieron mayor amplitud que los rechazos correctos ($p < 0.001$). Mientras que para los componentes P300 y LPC en la región occipital se encontró una mayor amplitud para los ensayos totales y espaciales en comparación con rechazos correctos ($p < 0.001$).

P300 parietal. Se encontró una interacción significativa entre electrodo por tipo de ensayo (Tabla 5). Se encontraron mayores amplitudes en los electrodos P3 y P4 de los ensayos totales (P3: $3.92 \pm 0.65 \mu\text{V}$; P4: $3.42 \pm 0.63 \mu\text{V}$) y espaciales ($3.27 \pm 0.67 \mu\text{V}$; $2.99 \pm 0.76 \mu\text{V}$) respecto a los rechazos correctos ($1.30 \pm 0.61 \mu\text{V}$, $p < 0.0001$; $1.36 \pm 0.65 \mu\text{V}$, $p < 0.0001$). Adicionalmente, se encontró que los ensayos totales (3.63 ± 0.84) tuvieron una mayor amplitud que los ensayos espaciales ($2.31 \pm 1.04 \mu\text{V}$; $p < 0.001$) y los rechazos correctos ($0.005 \pm 0.93 \mu\text{V}$; $p < 0.0001$) en el electrodo Pz; los ensayos espaciales tuvieron una mayor amplitud que los rechazos correctos ($p < 0.0001$). También se encontró un efecto principal del tipo de ensayo (Tabla 5), en el que los ensayos totales ($3.26 \pm 0.53 \mu\text{V}$) y espaciales ($2.69 \pm 0.60 \mu\text{V}$) tuvieron una mayor amplitud que la de los rechazos correctos ($1.41 \pm 0.54 \mu\text{V}$; $p < 0.01$).

P300 occipital. Aunque no se encontró interacción significativa entre electrodo y tipo de ensayo, o un efecto principal de electrodo ($p > 0.03$), se encontró un efecto significativo por tipo de ensayo (Tabla 5). Los ensayos totales ($3.45 \pm 0.75 \mu\text{V}$, $p < 0.001$) y espaciales ($2.73 \pm 0.76 \mu\text{V}$, $p < 0.03$) mostraron mayor amplitud que Los rechazos correctos ($1.68 \pm 0.77 \mu\text{V}$); no hubo diferencias significativas entre los ensayos totales y espaciales ($p > 0.03$).

FN400. La interacción entre tipo de ensayo y electrodo no fue significativa; tampoco el efecto principal de electrodo ($p > 0.03$). Sin embargo, se encontró un efecto significativo por tipo de ensayo (Tabla 5). El análisis *post hoc* mostró que los ensayos totales ($0.60 \pm 0.56 \mu\text{V}$; $p < 0.001$) y espaciales ($0.61 \pm 0.64 \mu\text{V}$; $p < 0.001$) tuvieron una menor negatividad en comparación con los rechazos correctos ($-1.47 \pm 0.54 \mu\text{V}$).

LPC frontal. No hubo interacción significativa entre ensayo y electrodo, ni un efecto principal por electrodo ($p>0.03$). En cambio, hubo un efecto significativo por tipo de ensayo (Tabla 5). El análisis *post hoc* mostró una mayor amplitud para los ensayos total ($3.09\pm 0.67 \mu\text{V}$) y espacial ($3.07\pm 0.63 \mu\text{V}$) respecto a los rechazos correctos ($0.17\pm 0.60 \mu\text{V}$; $p<0.001$).

LPC parietal. Hubo una interacción entre electrodo y tipo de ensayo (Tabla 5). El análisis *post hoc* mostró que los ensayos totales tuvieron mayor amplitud que los rechazos correctos en los electrodos P3 ($7.39\pm 0.75 \mu\text{V}$ vs. $4.05\pm 0.73 \mu\text{V}$; $p<0.001$, para ensayos total y rechazos correctos, respectivamente), P4 ($6.50\pm 0.90 \mu\text{V}$ vs. $3.52\pm 0.84 \mu\text{V}$; $p<0.001$), P7 ($3.11\pm 0.71 \mu\text{V}$ vs. $1.79\pm 0.77 \mu\text{V}$; $p<0.01$), P8 ($3.18\pm 0.77 \mu\text{V}$ vs. $1.42\pm 0.73 \mu\text{V}$; $p<0.01$) y Pz ($8.33\pm 0.86 \mu\text{V}$ vs. $4.29\pm 0.91 \mu\text{V}$; $p<0.001$). Los ensayos espaciales (P3: $7.56\pm 0.89 \mu\text{V}$, $p<0.001$; P4: $6.86\pm 0.99 \mu\text{V}$, $p<0.001$; P7: $3.51\pm 0.77 \mu\text{V}$, $p<0.001$; P8: $3.31\pm 0.74 \mu\text{V}$, $p<0.001$; Pz: $8.35\pm 1.04 \mu\text{V}$, $p<0.001$) también tuvieron una mayor amplitud que los rechazos correctos.

Además, el efecto principal de tipo de ensayo resultó significativo (Tabla 5). Los ensayos totales ($5.70\pm 0.62 \mu\text{V}$, $p<0.001$) y espaciales ($5.92\pm 0.73 \mu\text{V}$, $p<0.001$) tuvieron una mayor amplitud que los rechazos correctos ($3.02\pm 0.62 \mu\text{V}$); no hubo diferencias entre los ensayos totales y espaciales. Adicionalmente, se encontró un efecto principal significativo de electrodo (Tabla 5) en el que los electrodos P7 ($2.80\pm 0.68 \mu\text{V}$) y P8 ($2.64\pm 0.69 \mu\text{V}$) tuvieron una menor amplitud que los electrodos P3 ($6.33\pm 0.71 \mu\text{V}$, $p<0.001$), P4 ($5.63\pm 0.85 \mu\text{V}$, $p<0.001$) y Pz ($6.99\pm 0.85 \mu\text{V}$, $p<0.001$).

LPC occipital. No hubo una interacción significativa entre tipo de ensayo y electrodo ($p>0.03$). Por el contrario, se encontró un efecto principal significativo para

tipo de ensayo (Tabla 5), en el que los rechazos correctos ($3.50 \pm 1.00 \mu\text{V}$) tuvieron una menor amplitud que los ensayos totales ($5.81 \pm 1.10 \mu\text{V}$, $p < 0.0001$) y espacial ($6.23 \pm 1.09 \mu\text{V}$, $p < 0.0001$); no se encontraron diferencias significativas entre estos últimos.

8.3 Resultados de la banda theta

Como se puede observar en la Figura 7, la ventana evaluada en la región occipital tuvo valores positivos, lo que corresponde a una sincronización en la banda theta. En esta ventana se observó un efecto principal por el tipo de ensayo (Tabla 6). El análisis *post hoc* mostró que el ensayo total ($0.26 \pm 1.10 \mu\text{V}$) tuvo una mayor amplitud de sincronización que los ensayos espaciales ($0.09 \pm 0.08 \mu\text{V}$, $p < 0.05$) y que los rechazos correctos ($-0.06 \pm 0.08 \mu\text{V}$, $p < 0.001$). Además, hubo una tendencia ($p = 0.052$) en la que los ensayos espaciales tuvieron una mayor amplitud de sincronización que los rechazos correctos (Figura 7). No se encontró una interacción significativa por tipo de ensayo y electrodo, ni un efecto principal por electrodo (Figura 7).

Tabla 6. Resultados para la banda theta en la región occipital.

Efecto	F	p	η^2	Poder	ϵ
Recuerdo	$F(1.92, 47.93) = 12.71$	0.0001	0.34	0.99	0.96
Electrodo	$F(1.62, 40.59) = 1.78$	0.19	0.07	0.32	0.81
Interacción	$F(2.25, 56.25) = 0.28$	0.78	0.01	0.09	0.56

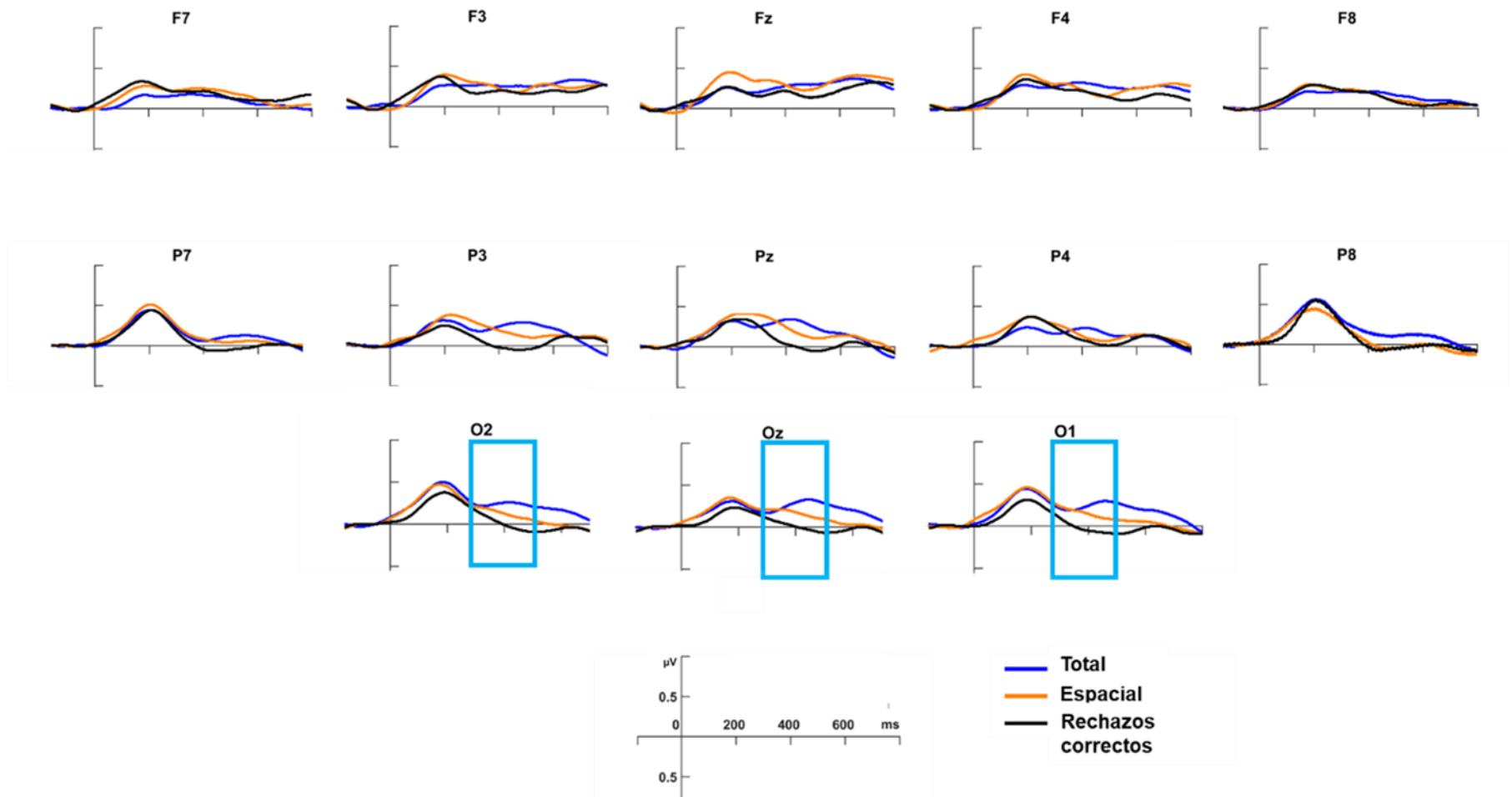


Figura 7. Representación de theta en las regiones frontal, parietal y occipital. De acuerdo con los resultados del análisis de permutaciones, sólo se comparó la amplitud en la región occipital, donde se puede observar una amplitud positiva que indica una sincronización. Hubo una mayor amplitud en sincronización para los ensayos totales en comparación a los ensayos espaciales ($p < 0.05$) y en comparación a los rechazos correctos ($p < 0.001$); también se observó una tendencia de una mayor amplitud sincronización para los ensayos espaciales que para los rechazos correctos ($p = 0.052$). Ventana de 300-700 ms.

9. Discusión

El objetivo de este estudio fue describir los cambios en los PREs y la banda theta asociados a la recuperación de información episódica. Conductualmente, se encontró un mayor porcentaje de respuestas del ensayo total en comparación con todos los tipos de ensayo, sugiriendo que nuestros participantes tuvieron una alta eficiencia para recordar ambos contextos, temporal y espacial, más que sólo uno de ellos o ninguno. Asimismo, los porcentajes de respuestas para los recuerdos total y espacial fueron mayores que para errores y objeto; sin embargo, no hubo diferencias entre objeto y errores, ni entre ensayos temporal y errores. Si asumimos que durante los ensayos de errores los participantes olvidaron la información tanto del objeto, como de ambos contextos, entonces, la respuesta dada durante un error se da por contestar al azar (i.e., estaban adivinando). Y dado que ni las respuestas de objetos, ni de tiempo son distintas a errores, entonces no es posible descartar que este tipo de respuestas fueran debidas al azar. Cuando se comparó el porcentaje de cada tipo de respuestas con el esperado si fuera el azar (i.e., 20%), ni tiempo, ni objetos fueron significativamente distintos. Así que los ensayos tiempo y objetos podrían ser dados debido al azar, y, por lo tanto, el análisis de los PREs y de la banda theta sólo consideró a los ensayos total, espacial y rechazos correctos. La baja probabilidad de recordar el contexto temporal nos podría indicar que este tipo de información episódica es más compleja de representar que el contexto espacial, que sí fue mayor que el azar. La naturaleza misma de los contextos explicaría la razón de las diferencias entre ambos contextos. Mientras que para el contexto espacial se tiene que asociar al objeto con la posición en la que se encuentra en la misma escena, para el contexto temporal se necesita asociar con

una lista de diferentes imágenes. La asociación con una lista de estímulos podría ser más demandante que el asociar un estímulo con su posición.

9.1 N200, P300, y el recuerdo de los contextos

El componente N200 encontrado en la región parietal fue más negativo para los rechazos correctos en comparación con los ensayos totales y espaciales. Específicamente, el electrodo Pz mostró un efecto escalonado en donde los rechazos correctos tuvieron una mayor negatividad, los ensayos espaciales tuvieron una menor negatividad que los rechazos correctos, y los ensayos totales tuvieron la negatividad menor. En un estudio previo, se encontró que la recuperación espacial se asociaba con una menor negatividad en comparación a rechazos correctos en un componente con una latencia correspondiente a la de N200 (i.e., 150-250 ms; Cansino & Trejo-Morales, 2008). Este hallazgo se interpretó como un efecto temprano de atención que diferencia entre ítems nuevos y viejos. En el presente estudio se replicó este efecto; además, ahora sabemos que la negatividad del componente N200 disminuye conforme más información del contexto se recupera. Esto complementa la interpretación hecha por Cansino & Trejo-Morales (2008) pues nuestros datos sugieren que la atención juega un papel relevante también en la recuperación del contexto y no sólo en la discriminación entre información nueva y vieja.

Otro de los componentes tempranos estudiados fue P300 detectado en regiones parietales y occipitales. En la región parietal, el componente P300 tuvo mayor amplitud positiva para ensayos totales en comparación con la de los ensayos

espaciales y rechazos correctos; para los ensayos espaciales hubo una mayor amplitud positiva que para los rechazos correctos. Por una parte, se ha observado que el incremento en amplitud positiva de la P300 parietal se asocia con una mayor dificultad en memoria de trabajo, además, coincidiendo con el presente estudio, la información nueva (i.e., no-objetivo) se asocia con una menor amplitud positiva en comparación a la recuperación de ítems viejos (i.e., objetivos; Román-López et al., 2019). En cuanto a la región occipital, el componente P300 no presentó diferencias entre los ensayos totales y espaciales. Los resultados encontrados sugieren que la amplitud media del componente P300 parietal refleja la demanda cognitiva que se incrementa conforme se recupera más información episódica. En cambio, el componente P300 occipital parece ser sensible ante la discriminación entre información nueva e información episódica, pero insensible a la cantidad de contextos recuperados.

9.2 Componentes tardíos: FN400 y LPC

A diferencia de los componentes tempranos, con el componente FN400 no hubo un efecto sumatorio por el número de contextos recordados; el recordar al menos el contexto espacial disminuyó la negatividad de FN400 en comparación a rechazos correctos, pero no disminuyó más si se recuperaba tanto el contexto espacial como el temporal. Mollison & Curran (2012) ya habían encontrado un efecto similar evaluando sólo la recuperación espacial; en el presente estudio también pudo evaluarse qué ocurre con la recuperación de ambos contextos. Se ha propuesto que el componente FN400 es un indicador de familiaridad (Addante et al., 2012; Curran, 2000; Leynes, Bruett, Krizan, & Veloso, 2017b; Mollison & Curran, 2012). Se considera que el reconocimiento de información a través de la familiaridad

se considera que refleja la fuerza de memoria (Juola et al., 2019; Yonelinas et al., 2010). La fuerza de memoria se refiere a un término teórico que se relaciona con la seguridad subjetiva del participante de haber reconocido algún estímulo. Los resultados del presente estudio reflejan que la recuperación del dónde y el cuándo no incrementan la familiaridad con la que se reconoce la información en comparación a la recuperación de sólo un contexto (i.e., sólo el dónde). Para corroborar esta postura, en futuros estudios se podría incluir una tarea híbrida entre la tarea presente con el paradigma clásico de recordar/reconocer, y así se puede observar objetivamente qué tipo de contexto se recupera y qué proceso subjetivo utiliza el participante.

Una de las formas en las que se ha propuesto que la familiaridad participe en el recuerdo de información contextual es a través del proceso de “unificación” (Kamp et al., 2016; Yonelinas et al., 2010). Una posibilidad es que tanto el contexto temporal como el espacial se hayan considerado como un sólo elemento junto con el objeto. Esto se puede ilustrar modificando un poco el ejemplo del carnicero en el autobús (ver sección 2.1.3). Imagina ahora que cuando el carnicero se sube, lo identificas, no sólo como alguien conocido, sino como el carnicero del mercado que visité ayer. No es cualquier persona, es una persona “unida” a un contexto específico. A pesar de esto, no es claro cómo es que la “unificación” ocurre en este tipo de contextos, y si ocurre en el contexto temporal, o sólo en el espacial.

Por otra parte, el LPC incrementó su amplitud positiva sólo cuando se recuperó el contexto espacial y total en comparación a rechazos correctos, pero no hubo diferencias entre los dos primeros. Aunque normalmente el LPC se observa en la región parietal, también se observó un componente similar en las regiones

occipital y frontal. En las tres regiones se observó un patrón similar. Se ha sugerido que el LPC es sensible al proceso de recuerdo, lo que implica una recuperación del contexto de un evento (Juola et al., 2019; Wixted & Mickes, 2010; Yonelinas et al., 2010). Estos resultados se pueden explicar por medio del modelo de detección de señales del proceso dual (DPSD; Leynes et al., 2017; Yonelinas et al., 2010). Este modelo considera que el reconocimiento exitoso de información a través del recuerdo implica que un umbral en la fortaleza del recuerdo es superado por la recuperación del contexto (Leynes et al., 2017a; Yonelinas et al., 2010). Tanto en los ensayos espacial y total se supera este umbral. Sin embargo, no parece que la fuerza en el recuerdo se incremente una vez que este umbral se supere, o al menos, la fuerza en el recuerdo no impacta en el componente de LPC.

Como se mencionó arriba, en el presente estudio también se encontró un “LPC frontal”; en un estudio previo se encontró un componente con una latencia y topografía parecida (Cruse & Wilding, 2009). Estos autores encontraron que una mayor “confianza en el recuerdo” del contexto se asociaba con una mayor amplitud del componente mencionado (Cruse & Wilding, 2009). Tomando en cuenta este antecedente, es posible que la confianza con la que se reconocen las imágenes de la tarea utilizada en el presente estudio sea similar entre los ensayos espacial y total y, por lo tanto, el “LPC frontal” no difiera en amplitud entre estos tipos de ensayo. En futuros estudios se necesitaría evaluar al LPC en la región frontal mientras se recuperan los contextos espaciales y temporales en conjunto con la confianza con la que estos contextos se recuperan para corroborar la hipótesis planteada.

Los resultados observados en los componentes tardíos, FN400 y LPC, no apoyan la hipótesis planteada en este estudio, pues no se encontró evidencia de un

efecto aditivo de la recuperación del qué, dónde y cuándo en comparación al efecto de la recuperación del qué más un contexto (i.e., espacial). Ambos procesos, la familiaridad y el recuerdo, participan en el reconocimiento del qué y en el recuerdo del dónde y el cuándo de la memoria episódica, sin embargo, ninguno de estos dos procesos muestra un efecto aditivo en sus correlatos electrofisiológicos.

9.3 Banda theta y recuperación de memoria episódica

En el presente estudio se observó la mayor amplitud en la sincronización de theta en la región occipital cuando se recuperó todo el contexto, mientras que al recuperar el contexto espacial se asoció con una sincronización intermedia; la sincronización con menos amplitud fue asociada a los ensayos de rechazos correctos. Previamente ya se ha asociado la banda theta con la fase de recuperación de memoria (Cona et al., 2020; Klimesch, Doppelmayr, Stadler, et al., 2001; Staudigl et al., 2010), incluyendo la recuperación de contextos específicos (Eschmann et al., 2020). Nuestros resultados concuerdan con la literatura previamente citada, además de que aportan nueva información acerca del papel de theta en la recuperación de memoria episódica. Hasta donde sabemos, no hay estudios que hayan estudiado la relación entre theta y el qué, el dónde y el cuándo de la memoria episódica. La evidencia aportada por el presente estudio sugiere que la sincronización de theta se incrementa dependiendo de la cantidad de elementos recuperados, y que la recuperación parcial de ellos (i.e., recuperar el qué y el dónde, pero olvidar el cuándo) es suficiente para que haya una mayor amplitud de sincronización en comparación a cuando no hay recuperación de información (i.e. rechazos correctos).

9.4 Limitaciones

La limitación principal del estudio fue la incapacidad de poder evaluar directamente la amplitud de los PREs y la banda theta asociada al qué y al cuándo (ensayos objeto y tiempo). Esta limitación provoca que las conclusiones derivadas específicamente acerca del contexto temporal se vean limitadas. Podemos saber qué ocurre con la recuperación simultánea del qué, dónde y cuándo (i.e., qué + dónde + cuándo), así como del dónde (i.e., qué + dónde), pero sólo podemos plantear hipótesis respecto a la recuperación del cuándo (qué + cuándo).

10. Conclusión

El objetivo de la presente investigación es describir los cambios electrofisiológicos a través de PREs y la banda theta asociados a la recuperación de información episódica. De esta forma, la investigación nos muestra que la participación de procesos atencionales en la recuperación se modifica en función de la cantidad de información episódica recordada. Además, los resultados de los componentes FN400 y LPC muestran que los procesos de familiaridad y recuerdo ocurren de forma concurrente en la recuperación del qué, dónde y cuándo, sin embargo, no de forma aditiva. Por último, theta mostró ser sensible en detectar la cantidad de información episódica recuperada, sugiriendo su participación en el proceso de recuerdo.

11. Referencias

- Addante, R. J., Ranganath, C., Olichney, J., & Yonelinas, A. P. (2012). Neurophysiological evidence for a recollection impairment in amnesia patients that leaves familiarity intact. *Neuropsychologia*, *50*(13), 3004–3014. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.07.038>
- Addante, R. J., Ranganath, C., & Yonelinas, A. P. (2012). Examining ERP correlates of recognition memory: Evidence of accurate source recognition without recollection. *NeuroImage*, *62*(1), 439–450. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.04.031>
- Addante, R. J., Watrous, A. J., Yonelinas, A. P., Ekstrom, A. D., & Ranganath, C. (2011). Prestimulus theta activity predicts correct source memory retrieval. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *108*(26), 10702–10707. <https://doi.org/10.1073/pnas.1014528108>
- Ben-yakov, A., Dudai, Y., & Mayford, M. R. (2015). *Memory Retrieval in Mice and Men*. 1–28. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a021790>
- Benjamini, Y., Drai, D., Elmer, G., Kafkafi, N., & Golani, I. (2001). Controlling the false discovery rate in behavior genetics research. *Behavioural Brain Research*, *125*(1–2), 279–284. [https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(01\)00297-2](https://doi.org/10.1016/S0166-4328(01)00297-2)
- Bettencourt, K. M., Everett, L. H., Chen, Y., & Pathman, T. (2021). Examining the development of memory for temporal context and its underlying neural processes using event-related potentials. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *48*, 100932. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2021.100932>
- Bradley, M., & Lang, P. J. (1994). *MEASURING EMOTION: THE SELF-*

ASSESSMENT SEMANTIC DIFFERENTIAL MANIKIN AND THE. 25(1).

- Brown, S. C., & Craik, F. I. M. (2000). Encoding and Retrieval of Information. In *The Oxford handbook of memory* (pp. 93–98). Oxford University press, Inc.
- Bruns, A. (2004). Fourier-, Hilbert- and wavelet-based signal analysis: Are they really different approaches? *Journal of Neuroscience Methods*, 137(2), 321–332. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2004.03.002>
- Cansino, S., & Trejo-Morales, P. (2008). Neurophysiology of successful encoding and retrieval of source memory. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 8(1), 85–98. <https://doi.org/10.3758/CABN.8.1.85>
- Cohen, M. (2014). Analyzing neural time series data. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). The MIT Press.
- Cona, G., Chiossi, F., Di Tomasso, S., Pellegrino, G., Piccione, F., Bisiacchi, P., & Arcara, G. (2020). Theta and alpha oscillations as signatures of internal and external attention to delayed intentions: A magnetoencephalography (MEG) study. *NeuroImage*, 205(October 2019), 116295. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116295>
- Conway, M. a. (2001). Sensory-perceptual episodic memory and its context: autobiographical memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 356(1413), 1375–1384. <https://doi.org/10.1098/rstb.2001.0940>
- Copara, M. S., Hassan, A. S., Kyle, C. T., Libby, L. A., Ranganath, C., & Ekstrom, A. D. (2014). Complementary roles of human hippocampal subregions during retrieval of spatiotemporal context. *J Neurosci*, 34(20), 6834–6842. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5341-13.2014>

- Cruse, D., & Wilding, E. L. (2009). Prefrontal cortex contributions to episodic retrieval monitoring and evaluation. *Neuropsychologia*, *47*(13), 2779–2789. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.06.003>
- Curran, T. (2000). Brain potentials of recollection and familiarity. *Memory and Cognition*, *28*(6), 923–938. <https://doi.org/10.3758/BF03209340>
- Curran, T., & Friedman, W. J. (2004). ERP old/new effects at different retention intervals in recency discrimination tasks. *Cognitive Brain Research*, *18*(2), 107–120. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2003.09.006>
- Diana, R. A., Van den Boom, W., Yonelinas, A. P., & Ranganath, C. (2011). ERP correlates of source memory: Unitized source information increases familiarity-based retrieval. *Brain Research*, *7*(1367), 278–286. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.10.030>
- Diana, R. A., Yonelinas, A. P., & Ranganath, C. (2013). Parahippocampal cortex activation during context reinstatement predicts item recollection. *Journal of Experimental Psychology. General*, *142*(4), 1287–1297. <https://doi.org/10.1037/a0034029>
- Dickerson, B. C., Miller, S. L., Greve, D. N., Dale, A. M., Albert, M. S., Schacter, D. L., & Sperling, R. A. (2007). Prefrontal-Hippocampal-Fusiform Activity During Encoding Predicts Intraindividual Differences in Free Recall Ability: An Event-Related Functional-Anatomic MRI Study. *Hippocampus*, *17*(9), 1060–1070. <https://doi.org/10.1002/hipo.20338>
- Donaldson, D. I., Wheeler, M. E., & Petersen, S. E. (2010). Remember the source: dissociating frontal and parietal contributions to episodic memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*(2), 377–391.

<https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21242>

Duarte, A., Henson, R. N., Knight, R. T., Emery, T., & Graham, K. S. (2009).

Orbito-frontal Cortex is Necessary for Temporal Context Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(8), 1819–1831.

<https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21316>

Duncan, K., Tompary, A., & Davachi, L. (2014). Associative encoding and retrieval are predicted by functional connectivity in distinct hippocampal area CA1 pathways. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 34(34), 11188–11198.

<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0521-14.2014>

Düzel, E., Picton, T. W., Cabeza, R., Yonelinas, A. P., Scheich, H., Heinze, H. J., & Tulving, E. (2001). Comparative electrophysiological and hemodynamic measures of neural activation during memory-retrieval. *Human Brain Mapping*, 13(2), 104–123. <https://doi.org/10.1002/hbm.1028>

Ekstrom, A. A. D., & Bookheimer, S. Y. S. (2007). Spatial and temporal episodic memory retrieval recruit dissociable functional networks in the human brain. *Learning & Memory*, 14(10), 645–654.

<https://doi.org/10.1101/lm.575107>.Several

Eschmann, K. C. J., Bader, R., & Mecklinger, A. (2020). Improving episodic memory: Frontal-midline theta neurofeedback training increases source memory performance. *NeuroImage*, 222(August), 117219.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117219>

Estrada-Manilla, C., & Cansino, S. (2012). Event-related potential variations in the encoding and retrieval of different amounts of contextual information.

Behavioural Brain Research, 232(1), 190–201.

<https://doi.org/10.1016/j.bbr.2012.04.012>

Fields, E. C., & Kuperberg, G. R. (2019). Having your cake and eating it too:

Flexibility and power with mass univariate statistics for ERP data.

Psychophysiology, July, 1–21. <https://doi.org/10.1111/psyp.13468>

Gardiner, J. M. (2002). Episodic Memory and autonoetic consciousness: a first-person approach. In *Episodic Memory: New Directions in Research* (Vol. 6, Issue 38, pp. 45–66). OXFORD SCHOLARSHIP ONLINE.

<https://doi.org/10.1093/acprof>

Groppe, D. M., Urbach, T. P., & Kutas, M. (2011). Mass univariate analysis of event-related brain potentials/fields I: A critical tutorial review.

Psychophysiology, 48(12), 1711–1725. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01273.x>

Guay, S., De Beaumont, L., Drisdelle, B. L., Lina, J. M., & Jolicoeur, P. (2018).

Electrophysiological impact of multiple concussions in asymptomatic athletes:

A re-analysis based on alpha activity during a visual-spatial attention task.

Neuropsychologia, 108(September 2017), 42–49.

<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.11.022>

Guderian, S., & Düzel, E. (2005). Induced theta oscillations mediate large-scale synchrony with mediotemporal areas during recollection in humans.

Hippocampus, 15(7), 901–912. <https://doi.org/10.1002/hipo.20125>

Hammond, D. C. (2011). What is Neurofeedback: An Update. *Journal of*

Neurotherapy, 15(4), 305–336. <https://doi.org/10.1080/10874208.2011.623090>

Herrmann, C. S., Strüber, D., Helfrich, R. F., & Engel, A. K. (2016). EEG

- oscillations: From correlation to causality. *International Journal of Psychophysiology*, 103, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.02.003>
- Holland, S. M., & Smulders, T. V. (2011). Do humans use episodic memory to solve a What-Where-When memory task? *Animal Cognition*, 14(1), 95–102. <https://doi.org/10.1007/s10071-010-0346-5>
- Huijbers, W., Pennartz, C. M. A., & Daselaar, S. M. (2010). Dissociating the “retrieval success” regions of the brain: Effects of retrieval delay. *Neuropsychologia*, 48(2), 491–497. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.10.006>
- Humphreys, M. S., Smith, S., Pachana, N. A., Tehan, G., & Byrne, G. J. (2010). Measuring Episodic Memory: A Novel Approach with an Indefinite Number of Alternative Forms MICHAEL. *Applied Cognitive Psychology*, 21(June 2010), 1080–1094. <https://doi.org/10.1002/acp.1591>
- Israel, S. L., Seibert, T. M., Black, M. L., & Brewer, J. (2009). Going their separate ways: dissociation of hippocampal and dorsolateral prefrontal activation during episodic retrieval and post-retrieval processing. *J Cogn Neurosci*, 22(3), 513–525. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21198>
- Juola, J. F., Caballero-Sanz, A., Muñoz-García, A. R., Botella, J., & Suero, M. (2019). Familiarity, recollection, and receiver-operating characteristic (ROC) curves in recognition memory. *Memory and Cognition*, 47(4), 855–876. <https://doi.org/10.3758/s13421-019-00922-8>
- Jurado, S., Villegas, M. E., Méndez, L., Rodríguez, F., Loperena, V., & Varela, R. (1998). Estandarización población mexicana Beck. In *Salud Mental* (Vol. 21, Issue 3, pp. 26–31).

- Kamp, S. M., Bader, R., & Mecklinger, A. (2016). The effect of unitizing word pairs on recollection versus familiarity-based retrieval-further evidence from ERPs. *Advances in Cognitive Psychology*, 12(4), 168–177.
<https://doi.org/10.5709/acp-0196-2>
- Karakaş, S. (2020). A review of theta oscillation and its functional correlates. *International Journal of Psychophysiology*, 157(May), 82–99.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.04.008>
- Kim, H. (2020). An integrative model of network activity during episodic memory retrieval and a meta-analysis of fMRI studies on source memory retrieval. *Brain Research*, 1747(January), 147049.
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2020.147049>
- Kim, H., & Cabeza, R. (2009). Common and specific brain regions in high- versus low-confidence recognition memory. *Brain Research*, 1282, 103–113.
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.05.080>
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Stadler, W., Pöllhuber, D., Sauseng, P., & Röhme, D. (2001). Episodic retrieval is reflected by a process specific increase in human electroencephalographic theta activity. *Neuroscience Letters*, 302(1), 49–52. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(01\)01656-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(01)01656-1)
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Yonelinas, A., Kroll, N. E. A., Lazzara, M., Röhme, D., & Gruber, W. (2001). Theta synchronization during episodic retrieval: Neural correlates of conscious awareness. *Cognitive Brain Research*, 12(1), 33–38. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(01\)00024-6](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(01)00024-6)
- Kyle, C., Smuda, D., Hassan, A., & Ekstrom, A. (2015). *Roles of human hippocampal subfields in retrieval of spatial and temporal context*. 1(278),

549–558. <https://doi.org/10.1038/nbt.3121>.ChIP-nexus

Leynes, P. A., Bruett, H., Krizan, J., & Veloso, A. (2017a). Brain and Cognition
What psychological process is reflected in the FN400 event-related potential
component? *Brain and Cognition*, *113*, 142–154.

<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2017.02.004>

Leynes, P. A., Bruett, H., Krizan, J., & Veloso, A. (2017b). What psychological
process is reflected in the FN400 event-related potential component? *Brain
and Cognition*, *113*, 142–154. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2017.02.004>

Leynes, P. A., & Crawford, C. J. (2018). Event-related potential (ERP) evidence
that encoding focus alters recollected features. *Brain and Cognition*,
127(September), 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2018.09.005>

Luck, S. J. (2014). An introduction to Event related potential technique. In *An
introduction to Event related potential technique* (Second, Vol. 79, Issue 3, p.
406).

Mandler, G. (1980). Recognizing: The judgment of previous occurrence.
Psychological Review, *87*(3), 252–271. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.87.3.252>

Marek, S., & Dosenbach, N. U. F. (2018). The frontoparietal network: function,
electrophysiology, and importance of individual precision mapping. *Taylor &
Francis Online*, *20*(2), 133–140.

<https://doi.org/10.31887/DCNS.2018.20.2/smarek>

Maris, E., & Oostenveld, R. (2007). Nonparametric statistical testing of EEG- and
MEG-data. *Journal of Neuroscience Methods*, *164*(1), 177–190.

<https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2007.03.024>

- Mayes, A. R., & Roberts, N. (2002). Theories of episodic memory. In *Episodic Memory: New Directions in Research* (Vol. 6, Issue 38, pp. 1–42). OXFORD SCHOLARSHIP ONLINE.
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198508809.001.0001>
- Mendelsohn, A., Furman, O., & Dudai, Y. (2010). Signatures of memory: brain coactivations during retrieval distinguish correct from incorrect recollection. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 4(April), 1–12.
<https://doi.org/10.3389/fnbeh.2010.00018>
- Mollison, M. V., & Curran, T. (2012). Familiarity in source memory. *Neuropsychologia*, 50(11), 2546–2565.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.06.027>
- Murray, J. G., Howie, C. A., & Donaldson, D. I. (2015). The neural mechanism underlying recollection is sensitive to the quality of episodic memory: Event related potentials reveal a some-or-none threshold. *NeuroImage*, 120, 298–308. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.06.069>
- Patel, S. H., & Azzam, P. N. (2005). Characterization of N200 and P300: Selected studies of the Event-Related Potential. *International Journal of Medical Sciences*, 2(4), 147–154. <https://doi.org/10.7150/ijms.2.147>
- Pfurtscheller, G., & Lopes, F. H. (1999). Event-related EEG / MEG synchronization and desynchronization : basic principles. *Clinical Neurophysiology*, 110, 1842–1857. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(99\)00141-8](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(99)00141-8)
- Ptak, R. (2012). The Frontoparietal Attention Network of the Human Brain : Action , Saliency , and a Priority Map of the Environment. *The Neuroscientist*, 18(5), 502–515. <https://doi.org/10.1177/1073858411409051>

- Roberts, B. M., Clarke, A., Addante, R. J., & Ranganath, C. (2018). Entrainment enhances theta oscillations and improves episodic memory. *Cognitive Neuroscience*, 9(3–4), 181–193.
<https://doi.org/10.1080/17588928.2018.1521386>
- Robles, R., Varela, R., Jurado, S., & Páez, F. (2001). *Versión Mexicana del inventario de ansiedad de Beck: Propiedades psicométricas* (Vol. 18, pp. 211–218).
- Roediger, H. L., Dudai, Y., & Fitzpatrick, S. (2007). Integrative comments encoding. The proof is still required. In H. Roediger, Y. Dudai, & S. Fitzpatrick (Eds.), *Science of Memory: Concepts*. Oxford University press, Inc.
- Román-López, T. V., Caballero-Sánchez, U., Cisneros-Luna, S., Franco-Rodríguez, J. A., Méndez-Díaz, M., Prospéro-García, O., & Ruiz-Contreras, A. E. (2019). Brain electrical activity from encoding to retrieval while maintaining and manipulating information in working memory. *Memory*, 27(8), 1063–1078.
<https://doi.org/10.1080/09658211.2019.1620287>
- Rossi, S., Pasqualetti, P., Zito, G., Vecchio, F., Cappa, S. F., Miniussi, C., Babiloni, C., & Rossini, P. M. (2006). Prefrontal and parietal cortex in human episodic memory: An interference study by repetitive transcranial magnetic stimulation. *European Journal of Neuroscience*, 23(3), 793–800.
<https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2006.04600.x>
- Rugg, M. D., & Vilberg, K. L. (2013). *Brain Networks Underlying Episodic Memory Retrieval*. 23(2), 255–260. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2012.11.005>. Brain
- Rugg, M. D., & Wilding, E. L. (2000). Retrieval processing and episodic memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(3), 108–115. <https://doi.org/10.1016/s1364->

- Tsukiura, T., Fujii, T., Okuda, J., Ohtake, H., Kawashima, R., Itoh, M., Fukuda, H., & Yamadori, A. (2002). Time-dependent contribution of the hippocampal complex when remembering the past: a PET study. *Neuroreport*, *13*(17), 2319–2323. <https://doi.org/10.1097/00001756-200212030-00030>
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In E. Tulving & W. Donaldson (Eds.), *Organization of memory* (Vol. 1, pp. 381–403). Academic Press. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00047257>
- Tulving, E. (1985). *Memory and consciousness* (Vol. 115, Issue 5). Canadian Psychological Association. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1037/h0080017>
- Tulving, E. (2000). Study of memory. In *The Oxford Handbook of Memory* (pp. 41–48). Oxford University press, Inc.
- Wheeler, M. A. (2000). Episodic memory and autonoetic awareness. In *The Oxford Handbook of Memory* (pp. 597–625). Oxford University press, Inc.
- Wixted, J. T., & Mickes, L. (2010). A continuous dual-process model of remember/know judgments. *Psychological Review*, *117*(4), 1025–1054. <https://doi.org/10.1037/a0020874>
- Yonelinas, A. P. (1999). *The Contribution of Recollection and Familiarity to Recognition and Source-Memory Judgments : A Formal Dual-Process Model and an Analysis of Receiver Operating Characteristics*. *25*(6), 1415–1434.
- Yonelinas, A. P., Aly, M., Wang, W. C., & Koen, J. D. (2010). Recollection and Familiarity: Examining Controversial Assumptions and New Directions. *Hippocampus*, *20*(11), 1178–1194. <https://doi.org/10.1002/hipo.20864>.
- Yordanova, J., Kolev, V., & Polich, J. (2001). P300 and alpha event-related desynchronization (ERD). *Psychophysiology*, *38*(1), 143–152.

<https://doi.org/10.1017/S0048577201990079>

Yu, S. S., Johnson, J. D., & Rugg, M. D. (2012). Hippocampal activity during recognition memory co-varies with the accuracy and confidence of source memory judgments. *Hippocampus*, 22(6), 1429–1437.

<https://doi.org/10.1002/hipo.20982>.Hippocampal

12. Anexos

12.1 Resultados del estudio piloto

Se realizaron dos análisis ANOVA de tres vías para medidas repetidas, uno para valencia y otro para activación. Estos análisis fueron realizados con el propósito de asegurarse de que la valencia y activación no difieren por posición, orden y bloque en los estímulos seleccionados por el estudio piloto.

En cuanto a la activación, no hubo diferencias significativas entre bloques [$F(1, 6)=0.39$, $p=0.56$], posición [$F(1, 6)=0.39$, $p=0.56$], ni serie [$F(1, 6)=1.48$, $p=0.27$]. Para valencia, tampoco hubo diferencias significativas entre bloques [$F(5, 30)=.63$, $p=0.67$], posición [$F(1, 6)=3.3699$, $p=0.12$], ni serie [$F(1, 6)=.00978$, $p=0.92$]. Adicionalmente, también se realizó un análisis comparando estímulos nuevos con viejos (i.e., ya vistos); no hubo diferencias en activación [$F(1, 33)= 1.65$, $p=0.20$], ni en valencia [$F(1, 33)=2.30$, $p=0.13$].